

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the application of:

Kozo AKIYOSHI and

Nobuo AKIYOSHI

Serial No.:

Filed: 03/07/2002

For: IMAGE CODING METHOD  
AND APPARATUS AND  
IMAGE DECODING METHOD  
AND APPARATUS

Group Art Unit:

Examiner:

Attorney Docket: 13925



Commissioner of Patents and Trademarks  
Washington, D.C. 20231  
U.S.A.

Dear Sir/Madam:

**LETTER ENCLOSING CERTIFIED COPY  
OF PRIORITY DOCUMENT**

To complete the claim for foreign priority made under 35 U.S.C. § 119(a)-(d) or (f) in respect of the above-noted application, the applicant encloses the certified copy of Japanese Patent Application No. 2001-064810, dated March 8, 2002.

Respectfully submitted,

Ralph A. Dowell  
Registration No. 26,868

DOWELL & DOWELL P.C.  
Suite 309  
1215 Jefferson Davis Highway  
Arlington, Virginia  
U.S.A. 22202  
Tel: (703) 415-2555  
Fax: (703) 415-2559

Date: 03/07/2002

Enclosures

92637-27/NWH/mis/March 6, 2002

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT



This is to certify that the annexed is a true copy of the  
following application as filed with this Office.

DATE OF APPLICATION : March 8, 2001

APPLICATION NUMBER : Patent Application 2001-064810

APPLICANT(S) : MONOLITH CO., LTD.

April 27, 2001

Commissioner, Patent Office

Kozo OIKAWA

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application: 2001年 3月 8日

出 願 番 号

Application Number: 特願2001-064810

出 願 人

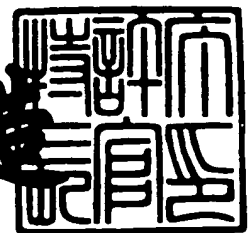
Applicant(s): 株式会社モノリス



2001年 4月27日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3035407

【書類名】 特許願

【整理番号】 MN-0139

【提出日】 平成13年 3月 8日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04B 14/00

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都港区麻布十番 1 - 7 - 3 株式会社モノリス内

    【氏名】 秋吉 仰三

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都港区麻布十番 1 - 7 - 3 株式会社モノリス内

    【氏名】 秋吉 信雄

【特許出願人】

    【識別番号】 396001980

    【氏名又は名称】 株式会社モノリス

【代理人】

    【識別番号】 100105924

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 森下 賢樹

    【電話番号】 0422-23-7415

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 054977

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

    【包括委任状番号】 9717729

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 画像符号化方法と装置および画像復号方法および装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 非負整数  $i, j$  について、

第  $i$  キーフレームと第  $j$  キーフレームのデータをそれぞれ  $K F_i, K F_j$ 、

第  $i$  キーフレームと第  $j$  キーフレームの間の対応情報ファイルを  $C_{i, j}$ 、

第  $i$  キーフレームと第  $j$  キーフレームの中間フレームのデータを  $I F_{i, j}$ 、

と定義したとき、

$K F_i, K F_{i+1}$  および  $C_{i, i+1}$  を含むデータストリームを入力し、そのデータストリームにおけるエラーの有無を検出するエラー検出部と、

前記データストリームから  $I F_{i, i+1}$  を生成する中間画像生成部と、

前記データストリームにエラーがあった場合、中間画像生成部においてエラー回避措置がとられるよう制御するエラー制御部と、

を含むことを特徴とする画像復号装置。

【請求項 2】  $K F_{i+1}$  にエラーがあったとき、前記回避措置として、他のキーフレームのデータによって  $K F_{i+1}$  を代用する請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】  $K F_{i+1}$  にエラーがあったとき、前記回避措置として、 $K F_i$  または  $K F_{i+2}$  の一方によって  $K F_{i+1}$  を代用する請求項 2 に記載の装置。

【請求項 4】  $K F_{i+1}$  にエラーがあったとき、前記回避措置として、他のキーフレームのデータおよびそれに関連する対応情報ファイルをもとに  $I F_{i, i+1}$  を生成する請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】  $K F_{i+1}$  にエラーがあったとき、前記回避措置として、 $K F_{i+1}$  は用いずに  $K F_i$  と  $C_{i, i+1}$  をもとに  $K F_i$  を変形して  $I F_{i, i+1}$  を生成する請求項 4 に記載の装置。

【請求項 6】  $K F_{i+1}$  と  $K F_{i+2}$  にエラーがあったとき、前記回避措置として、それら以外の少なくともひとつのキーフレームのデータおよびそのキーフレームに関連する少なくともふたつの対応情報ファイルをもとに  $I F_{i, i+2}$  を生成する請求項 1 に記載の装置。

【請求項7】  $KF_{i+1}$  と  $KF_{i+2}$  にエラーがあったとき、前記回避措置として、 $KF_{i+1}$  と  $KF_{i+2}$  は用いずに、 $KF_i$  と  $C_{i, i+1}$  および  $C_{i+1, i+2}$  をもとに  $KF_i$  を変形して  $IF_{i, i+2}$  を生成する請求項6に記載の装置。

【請求項8】  $KF_{i+1}$  にエラーがあったとき、前記回避措置として、前記データストリームに含まれる対応情報ファイルのうち  $a \leq i+1, i+2 < b$  なる  $C_{a, b}$  を検出し、 $C_{a, b}$  と  $KF_a$  および  $KF_b$  を用いて  $IF_{a, b}$  を生成し、この一部によって  $IF_{i+1, i+2}$  を代用する請求項1に記載の装置。

【請求項9】  $KF_{i+1}$  にエラーがあったとき、前記回避措置として、前記データストリームに含まれる対応情報ファイルのうち  $a < i+1, i+2 \leq b$  なる  $C_{a, b}$  を検出し、 $C_{a, b}$  と  $KF_a$  および  $KF_b$  を用いて  $IF_{a, b}$  を生成し、この一部によって  $IF_{i+1, i+2}$  を代用する請求項1に記載の装置。

【請求項10】  $KF_{i+1}$  にエラーがあったとき、前記回避措置として、前記データストリームに含まれる対応情報ファイルのうち  $a \ll i+1, i+2 \ll b$  なる  $C_{a, b}$  を検出し、 $C_{a, b}$  と  $KF_a$  および  $KF_b$  を用いて  $IF_{a, b}$  を生成し、この一部によって  $IF_{i+1, i+2}$  を代用する請求項1に記載の装置。

【請求項11】  $C_{i+1, i+2}$  にエラーがあったとき、前記回避措置として、他の対応情報ファイルによって  $C_{i+1, i+2}$  を代用する請求項1に記載の装置。

【請求項12】  $C_{i+1, i+2}$  にエラーがあったとき、前記回避措置として、 $C_{i, i+1}$  または  $C_{i+2, i+3}$  の一方によって  $C_{i+1, i+2}$  を代用する請求項11に記載の装置。

【請求項13】  $C_{i+1, i+2}$  にエラーがあったとき、前記回避措置として、他の少なくともふたつの対応情報ファイルをもとに生成した新たな対応情報ファイルによって  $C_{i+1, i+2}$  を代用する請求項1に記載の装置。

【請求項14】  $C_{i+1, i+2}$  にエラーがあったとき、前記回避措置として、 $C_{i, i+1}$  および  $C_{i+2, i+3}$  の双方から生成した新たな対応情報ファイルによって  $C_{i+1, i+2}$  を代用する請求項13に記載の装置。

【請求項 1 5】  $C_{i+1, i+2}$  にエラーがあったとき、前記回避措置として、 $C_{i+1, i+2}$  を、恒等写像を示す対応情報と仮定して利用する請求項 1 に記載の装置。

【請求項 1 6】 前記エラー制御部は、前記データストリームにエラーがあった場合でも、そのエラーの重要性が低いと判定したとき、前記エラー回避措置の実行を見合わせる請求項 1 から 1 5 のいずれかに記載の装置。

【請求項 1 7】  $C_{i, j}$  は  $KF_i$  と  $KF_j$  の間で画素ベースのマッチング計算をもとに生成されたものであり、前記中間画像生成部はこれらのデータをもとに補間計算によって中間フレームを生成する請求項 1 から 1 6 のいずれかに記載の装置。

【請求項 1 8】 非負整数  $i, j$  について、  
 第  $i$  キーフレームと第  $j$  キーフレームのデータをそれぞれ  $KF_i, KF_j$ 、  
 第  $i$  キーフレームと第  $j$  キーフレームの間の対応情報ファイルを  $C_{i, j}$ 、  
 と定義したとき、  
 キーフレームのデータを入力する画像入力部と、  
 入力されたキーフレームのデータのうち  $KF_i$  および  $KF_{i+1}$  を利用して  $C_{i, i+1}$  を生成し、かつ  $KF_i$  および  $KF_j$  ( $j > i+1$ ) を利用して  $C_{i, j}$  を生成する対応情報生成部と、  
 対応情報生成部で生成されたデータを含むデータストリームを生成するストリーム生成部と、  
 を含むことを特徴とする画像符号化装置。

【請求項 1 9】 前記対応情報生成部は、前記の  $C_{i, i+1}$  に比べて低い頻度で  $C_{i, j}$  を生成する請求項 1 8 に記載の装置。

【請求項 2 0】 前記対応情報生成部は、前記の  $C_{i, i+1}$  および  $C_{i, j}$  にエラーチェックのためのデータを埋め込んでそれらを生成する請求項 1 8、1 9 のいずれかに記載の装置。

【請求項 2 1】 前記対応情報生成部は、ふたつのキーフレームのそれぞれにおいて二次元的な探索を行って検出した特異点どうしのマッチングを計算する請求項 1 8 から 2 0 のいずれかに記載の装置。

【請求項 2 2】 複数のキーフレームおよびそれらの間の対応情報ファイルを含むデータストリームを取得する工程と、

そのデータストリームからキーフレーム間の中間フレームを生成する工程と、

そのデータストリームにおけるエラーを検出する工程とを含み、

エラーが検出されたとき、前記中間フレームを生成する際にエラー回避措置を実行することを特徴とする画像復号方法。

【請求項 2 3】 エラーがキーフレームのデータに検出されたとき、前記回避措置として、他のキーフレームのデータによってエラーのあったキーフレームのデータを代用し、前記中間フレームを生成する請求項 2 2 に記載の方法。

【請求項 2 4】 エラーがキーフレームのデータに検出されたとき、前記回避措置として、他のキーフレームのデータとそれに関連する対応情報ファイルをもとに、前記中間フレームを生成する請求項 2 2 に記載の方法。

【請求項 2 5】 エラーが対応情報ファイルに検出されたとき、前記回避措置として、他の対応情報ファイルによってエラーのあった対応情報ファイルを代用し、前記中間フレームを生成する請求項 2 2 に記載の方法。

【請求項 2 6】 エラーが対応情報ファイルに検出されたとき、前記回避措置として、他の対応情報ファイルをもとに生成された新たな対応情報ファイルをもとに前記中間フレームを生成する請求項 2 2 に記載の方法。

【請求項 2 7】 前記データストリームにエラーが検出された場合でも、そのエラーの重要性が低いとき、前記エラー回避措置の実行を見合わせる請求項 2 2 から 2 6 のいずれかに記載の方法。

【請求項 2 8】 隣接するふたつのキーフレームのデータをもとにそれらの間の対応情報を生成する第 1 工程と、

間隔をおいたふたつのキーフレームのデータをもとにそれらの間の対応情報を生成する第 2 工程と、

第 1 工程で生成された対応情報を主データ、第 2 工程で生成された対応情報を予備データとしてデータストリームを生成する工程と、

を含むことを特徴とする画像符号化方法。

【請求項 2 9】 前記第 1 工程に比べ、低い頻度で第 2 工程を実施する請求



項 2 8 に記載の方法。

【請求項 3 0】 エラーチェックのためのデータが埋め込まれて前記対応情報が生成される請求項 2 8、 2 9 のいずれかに記載の方法。

【請求項 3 1】 複数のキーフレームおよびそれらの間の対応情報ファイルを含むデータストリームを取得する工程と、

そのデータストリームからキーフレーム間の中間フレームを生成する工程と、

そのデータストリームにおけるエラーを検出する工程と、

エラーが検出されたとき、前記中間フレームを生成する際にエラー回避措置を実施する工程と、

をコンピュータに実行せしめることを特徴とするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

この発明は、画像処理技術に関し、とくにエラー処理を考慮した画像符号化および復号する方法と装置に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

動画圧縮の事実上の世界標準である M P E G (Motion Picture Expert Group) は、C D などストレージメディアからネットワークや放送などの伝送メディアへとそのターゲットエリアが広がった。放送のデジタル化は M P E G を中心とする圧縮符号化技術なしに考えることはできない。放送と通信の垣根が崩れ、サービス事業者の多様化は必須になり、ブロードバンド時代にデジタル文化がいかなる進展を遂げるか、予測がつきにくい状況にある。

【 0 0 0 3 】

そうした混沌の中でも、動画の圧縮技術に関する方向性についてある程度確かなことがある。ひとつは、より高い圧縮率と画質の両立である。M P E G は周知のごとく高圧縮化をブロック歪みが阻むことがある。もうひとつは、高エラー耐性である。ストレージメディアと異なり、ベストエフォートがサービスの原則であるインターネットその他の伝送路を使う場合、当然に伝送エラーを仮定した設

計が必要になる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

この発明はそうした状況に鑑みてなされたものであり、その目的は、良好な動画の圧縮技術をエラー耐性にも配慮して提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】

以下、本発明の画像復号技術および画像符号化技術は、主に動画について説明するが、モーフィング、ウォークスルーなどの映像効果など、用途は動画に限られない。

【0006】

本発明のある態様は、画像復号装置に関する。この装置は、非負整数  $i$ 、 $j$  について、第  $i$  キーフレームと第  $j$  キーフレームのデータをそれぞれ  $KF_i$ 、 $KF_j$ 、第  $i$  キーフレームと第  $j$  キーフレームの間の対応情報ファイルを  $C_{i,j}$ 、第  $i$  キーフレームと第  $j$  キーフレームの中間フレームのデータを  $IF_{i,j}$  と定義したとき、 $KF_i$ 、 $KF_{i+1}$  および  $C_{i,i+1}$  を含むデータストリームを入力し、そのデータストリームにおけるエラーの有無を検出するエラー検出部と、前記データストリームから  $IF_{i,i+1}$  を生成する中間画像生成部と、前記データストリームにエラーがあった場合、中間画像生成部においてエラー回避措置がとられるよう制御するエラー制御部とを含む。「フレーム」は画像の単位ではあるが、以下特に必要がない限り、これと「画像」を区別しない。「エラー」はデータエラーその他任意の障害である。「ファイル」は単に何らかの意味をもつデータの総称に過ぎない。

【0007】

中間画像生成部は、 $KF_i$  と  $KF_j$  について、 $C_{i,j}$  を補間することにより、 $IF_{i,j}$  を生成してもよい。 $IF_{i,j}$  は、 $KF_i$  と  $KF_j$  間の任意の位置に相当してよく、その意味で  $IF_{i,j}$  は  $KF_i$  と  $KF_j$  の間に生成されるべきすべての中間フレームを代表的に象徴している。

【0008】

本発明の別の態様は、画像復号方法に関する。この方法は、複数のキーフレームおよびそれらの間の対応情報ファイルを含むデータストリームを取得する工程と、そのデータストリームからキーフレーム間の中間フレームを生成する工程と、そのデータストリームにおけるエラーを検出する工程とを含み、エラーが検出されたとき、前記中間フレームを生成する際にエラー回避措置がとられる。

## 【 0 0 0 9 】

回避措置として、以下の例がある。

1. 他のキーフレームのデータによってエラーのあったキーフレームのデータを代用し、中間フレームを生成する。
2. 他のキーフレームのデータとそれに関連する対応情報ファイルをもとに、中間フレームを生成する。
3. 他の対応情報ファイルによってエラーのあった対応情報ファイルを代用し、中間フレームを生成する。
4. 他の対応情報ファイルをもとに生成された新たな対応情報ファイルをもとに中間フレームを生成する。

## 【 0 0 1 0 】

なお、そのエラーの重要性が低いとき、エラー回避措置の実行を見合わせてもよい。エラーの重要性が低い例は、たとえば以下のとおりである。

1. キーフレームの全画素中、エラーのあった画素の総数が少ない。
2. キーフレームの画像のうち低周波成分にはエラーがないか少ない。
3. エラーのあった画素が複数でも、それらが比較的分散している。
4. エラーのあった個所が画像の端部に近い。
5. エラーのあった個所が被写体の背景等、目立ちにくい。
6. エラーのあった画素の輝度が低い。

## 【 0 0 1 1 】

本発明のさらに別の態様は、画像符号化装置に関する。この装置は、キーフレームのデータを入力する画像入力部と、入力されたキーフレームのデータのうち  $KF_i$  および  $KF_{i+1}$  を利用して  $C_{i, i+1}$  を生成し、かつ  $KF_i$  および  $KF_j$  ( $j > i+1$ ) を利用して  $C_{i, j}$  を生成する対応情報生成部と、対応情報

生成部で生成されたデータを含むデータストリームを生成するストリーム生成部とを含む。

## 【 0 0 1 2 】

本発明のさらに別の態様は、画像符号化方法に関する。この方法は、隣接するふたつのキーフレームのデータをもとにそれらの間の対応情報を生成する第 1 工程と、間隔をおいたふたつのキーフレームのデータをもとにそれらの間の対応情報を生成する第 2 工程と、第 1 工程で生成された対応情報を主データ、第 2 工程で生成された対応情報を予備データとしてデータストリームを生成する工程とを含む。

## 【 0 0 1 3 】

「主データ」は通常再生すべきデータ、「予備データ」は復号の際にエラーがあった場合、その修復等に利用すべきデータである。したがって、第 1 工程に比べ、低い頻度で第 2 工程を実施してもよい。また本方法では、エラーチェックのためのデータが埋め込まれて対応情報が生成されてもよい。このデータの例はパリティビットである。

## 【 0 0 1 4 】

本発明の画像符号化方法はさらに、ふたつのキーフレームからそれぞれ特異点を抽出することによってそれらを多重解像度化する工程と、同一解像度レベル間においてそれらのキーフレーム間のマッチングを例えば画素単位で計算する工程と、その結果を異なる解像度レベルにおけるマッチング計算に継承しながら最終的に最も解像度の細かいレベルにおける画素単位の対応関係を取得する工程とをさらに含んでもよい。

## 【 0 0 1 5 】

以上の態様において、特異点を用いるマッチング方法は、本出願人が先に特許第 2 9 2 7 3 5 0 号にて提案した技術（以下「前提技術」という）の応用でもよく、前提技術は前記検出する工程に好適である。

## 【 0 0 1 6 】

以上の各構成、工程を任意に入れ替えたり、方法と装置の間で表現を一部または全部入れ替え、または追加したり、表現をコンピュータプログラム、記録媒体

等に変更したものもまた、本発明として有効である。

## 【 0 0 1 7 】

### 【発明の実施の形態】

はじめに、実施の形態で利用する多重解像度特異点フィルタ技術とそれを用いた画像マッチング処理を「前提技術」として詳述する。これらの技術は本出願人がすでに特許第 2 9 2 7 3 5 0 号を得ている技術であり、本発明との組合せに最適である。ただし、実施の形態で採用可能な画像マッチング技術はこれに限られない。図 1 8 以降、前提技術を利用した画像データ符号化および復号技術を具体的に説明する。

### 〔前提技術の実施の形態〕

最初に〔1〕で前提技術の要素技術の詳述し、〔2〕で処理手順を具体的に説明する。さらに〔3〕で実験の結果を報告する。

#### 〔1〕要素技術の詳細

##### 〔1. 1〕イントロダクション

特異点フィルタと呼ばれる新たな多重解像度フィルタを導入し、画像間のマッチングを正確に計算する。オブジェクトに関する予備知識は一切不要である。画像間のマッチングの計算は、解像度の階層を進む間、各解像度において計算される。その際、粗いレベルから精細なレベルへと順に解像度の階層を辿っていく。計算に必要なパラメータは、人間の視覚システムに似た動的計算によって完全に自動設定される。画像間の対応点を人手で特定する必要はない。

## 【 0 0 1 8 】

本前提技術は、例えば完全に自動的なモーフィング、物体認識、立体写真測量、ボリュームレンダリング、少ないフレームからの滑らかな動画像の生成などに応用できる。モーフィングに用いる場合、与えられた画像を自動的に変形することができる。ボリュームレンダリングに用いる場合、断面間の中間的な画像を正確に再構築することができる。断面間の距離が遠く、断面の形状が大きく変化する場合でも同様である。

## 【 0 0 1 9 】

### 〔1. 2〕特異点フィルタの階層

前提技術に係る多重解像度特異点フィルタは、画像の解像度を落としながら、しかも画像に含まれる各特異点の輝度及び位置を保存することができる。ここで画像の幅を $N$ 、高さを $M$ とする。以下簡単のため、 $N=M=2^n$  ( $n$ は自然数)と仮定する。また、区間  $[0, N] \subset \mathbb{R}$  を  $I$  と記述する。 $(i, j)$  における画像の画素を  $p(i, j)$  と記述する ( $i, j \in I$ )。

【0020】

ここで多重解像度の階層を導入する。階層化された画像群は多重解像度フィルタで生成される。多重解像度フィルタは、もとの画像に対して二次元的な探索を行って特異点を検出し、検出された特異点を抽出してもとの画像よりも解像度の低い別の画像を生成する。ここで第 $m$ レベルにおける各画像のサイズは $2^m \times 2^m$  ( $0 \leq m \leq n$ ) とする。特異点フィルタは次の4種類の新たな階層画像を $n$ から下がる方向で再帰的に構築する。

【0021】

【数1】

$$\begin{aligned}
 p_{(i,j)}^{(m,0)} &= \min(\min(p_{(2i,2j)}^{(m+1,0)}, p_{(2i,2j+1)}^{(m+1,0)}), \min(p_{(2i+1,2j)}^{(m+1,0)}, p_{(2i+1,2j+1)}^{(m+1,0)})) \\
 p_{(i,j)}^{(m,1)} &= \max(\min(p_{(2i,2j)}^{(m+1,1)}, p_{(2i,2j+1)}^{(m+1,1)}), \min(p_{(2i+1,2j)}^{(m+1,1)}, p_{(2i+1,2j+1)}^{(m+1,1)})) \\
 p_{(i,j)}^{(m,2)} &= \min(\max(p_{(2i,2j)}^{(m+1,2)}, p_{(2i,2j+1)}^{(m+1,2)}), \max(p_{(2i+1,2j)}^{(m+1,2)}, p_{(2i+1,2j+1)}^{(m+1,2)})) \\
 p_{(i,j)}^{(m,3)} &= \max(\max(p_{(2i,2j)}^{(m+1,3)}, p_{(2i,2j+1)}^{(m+1,3)}), \max(p_{(2i+1,2j)}^{(m+1,3)}, p_{(2i+1,2j+1)}^{(m+1,3)}))
 \end{aligned}$$

(式1)

ただしここで、

【数2】

$$p_{(i,j)}^{(n,0)} = p_{(i,j)}^{(n,1)} = p_{(i,j)}^{(n,2)} = p_{(i,j)}^{(n,3)} = p_{(i,j)} \quad (\text{式2})$$

とする。以降これら4つの画像を副画像 (サブイメージ) と呼ぶ。 $\min_{x \leq t} \leq x+1$ 、 $\max_{x \leq t \leq x+1}$  をそれぞれ $\alpha$ 及び $\beta$ と記述すると、副画像はそれぞれ以下のように記述できる。

$$p^{(m,0)} = \alpha(x) \alpha(y) p^{(m+1,0)}$$

$$p(m, 1) = \alpha(x) \beta(y) p(m+1, 1)$$

$$p(m, 2) = \beta(x) \alpha(y) p(m+1, 2)$$

$$p(m, 3) = \beta(x) \beta(y) p(m+1, 3)$$

## 【0022】

すなわち、これらは $\alpha$ と $\beta$ のテンソル積のようなものと考えられる。副画像はそれぞれ特異点に対応している。これらの式から明らかなように、特異点フィルタはもとの画像について $2 \times 2$ 画素で構成されるブロックごとに特異点を検出する。その際、各ブロックのふたつの方向、つまり縦と横について、最大画素値または最小画素値をもつ点を探索する。画素値として、前提技術では輝度を採用するが、画像に関するいろいろな数値を採用することができる。ふたつの方向の両方について最大画素値となる画素は極大点、ふたつの方向の両方について最小画素値となる画素は極小点、ふたつの方向の一方について最大画素値となるとともに、他方について最小画素値となる画素は鞍点として検出される。

## 【0023】

特異点フィルタは、各ブロックの内部で検出された特異点の画像（ここでは1画素）でそのブロックの画像（ここでは4画素）を代表させることにより、画像の解像度を落とす。特異点の理論的な観点からすれば、 $\alpha(x) \alpha(y)$ は極小点を保存し、 $\beta(x) \beta(y)$ は極大点を保存し、 $\alpha(x) \beta(y)$ 及び $\beta(x) \alpha(y)$ は鞍点を保存する。

## 【0024】

はじめに、マッチングをとるべき始点（ソース）画像と終点（デスティネーション）画像に対して別々に特異点フィルタ処理を施し、それぞれ一連の画像群、すなわち始点階層画像と終点階層画像を生成しておく。始点階層画像と終点階層画像は、特異点の種類に対応してそれぞれ4種類ずつ生成される。

## 【0025】

この後、一連の解像度レベルの中で始点階層画像と終点階層画像のマッチングがとれていく。まず $p(m, 0)$ を用いて極小点のマッチングがとられる。次に、その結果に基づき、 $p(m, 1)$ を用いて鞍点のマッチングがとられ、 $p(m, 2)$ を用いて他の鞍点のマッチングがとられる。そして最後に $p(m, 3)$

を用いて極大点のマッチングがとられる。

#### 【 0 0 2 6 】

図 1 (c) と図 1 (d) はそれぞれ図 1 (a) と図 1 (b) の副画像  $p^{(5, 0)}$  を示している。同様に、図 1 (e) と図 1 (f) は  $p^{(5, 1)}$ 、図 1 (g) と図 1 (h) は  $p^{(5, 2)}$ 、図 1 (i) と図 1 (j) は  $p^{(5, 3)}$  をそれぞれ示している。これらの図からわかるとおり、副画像によれば画像の特徴部分のマッチングが容易になる。まず  $p^{(5, 0)}$  によって目が明確になる。目は顔の中で輝度の極小点だからである。 $p^{(5, 1)}$  によれば口が明確になる。口は横方向で輝度が低いためである。 $p^{(5, 2)}$  によれば首の両側の縦線が明確になる。最後に、 $p^{(5, 3)}$  によって耳や頬の最も明るい点が明確になる。これらは輝度の極大点だからである。

#### 【 0 0 2 7 】

特異点フィルタによれば画像の特徴が抽出できるため、例えばカメラで撮影された画像の特徴と、予め記録しておいたいくつかのオブジェクトの特徴を比較することにより、カメラに映った被写体を識別することができる。

#### 【 0 0 2 8 】

##### [ 1 . 3 ] 画像間の写像の計算

始点画像の位置  $(i, j)$  の画素を  $p^{(n)}(i, j)$  と書き、同じく終点画像の位置  $(k, l)$  の画素を  $q^{(n)}(k, l)$  で記述する。 $i, j, k, l \in I$  とする。画像間の写像のエネルギー (後述) を定義する。このエネルギーは、始点画像の画素の輝度と終点画像の対応する画素の輝度の差、及び写像の滑らかさによって決まる。最初に最小のエネルギーを持つ  $p^{(m, 0)}$  と  $q^{(m, 0)}$  間の写像  $f^{(m, 0)} : p^{(m, 0)} \rightarrow q^{(m, 0)}$  が計算される。 $f^{(m, 0)}$  に基づき、最小エネルギーを持つ  $p^{(m, 1)}$ 、 $q^{(m, 1)}$  間の写像  $f^{(m, 1)}$  が計算される。この手続は、 $p^{(m, 3)}$  と  $q^{(m, 3)}$  の間の写像  $f^{(m, 3)}$  の計算が終了するまで続く。各写像  $f^{(m, i)}$  ( $i = 0, 1, 2, \dots$ ) を副写像と呼ぶことにする。 $f^{(m, i)}$  の計算の都合のために、 $i$  の順序は次式のように並べ替えることができる。並べ替えが必要な理由は後述する。

#### 【 0 0 2 9 】



【数3】

$$f^{(m,i)} : p^{(m,\sigma(i))} \rightarrow q^{(m,\sigma(i))} \quad (\text{式 3})$$

ここで  $\sigma(i) \in \{0, 1, 2, 3\}$  である。

【0030】

[1. 3. 1] 全単射

始点画像と終点画像の間のマッチングを写像で表現する場合、その写像は両画像間で全単射条件を満たすべきである。両画像に概念上の優劣はなく、互いの画素が全射かつ単射で接続されるべきだからである。しかしながら通常の場合とは異なり、ここで構築すべき写像は全単射のデジタル版である。前提技術では、画素は格子点によって特定される。

【0031】

始点副画像（始点画像について設けられた副画像）から終点副画像（終点画像について設けられた副画像）への写像は、 $f^{(m,s)} : I/2^{n-m} \times I/2^{n-m} \rightarrow I/2^{n-m} \times I/2^{n-m}$  ( $s = 0, 1, \dots$ ) によって表される。ここで、 $f^{(m,s)}(i, j) = (k, l)$  は、始点画像の  $p^{(m,s)}(i, j)$  が終点画像の  $q^{(m,s)}(k, l)$  に写像されることを意味する。簡単のために、 $f(i, j) = (k, l)$  が成り立つとき画素  $q(k, l)$  を  $q_f(i, j)$  と記述する。

【0032】

前提技術で扱う画素（格子点）のようにデータが離散的な場合、全単射の定義は重要である。ここでは以下のように定義する（ $i, i', j, j', k, l$  は全て整数とする）。まず始めに、始点画像の平面において  $R$  によって表記される各正方形領域、

【0033】

【数4】

$$p_{(i,j)}^{(m,s)} p_{(i+1,j)}^{(m,s)} p_{(i+1,j+1)}^{(m,s)} p_{(i,j+1)}^{(m,s)} \quad (\text{式 4})$$

を考える（ $i = 0, \dots, 2^m - 1, j = 0, \dots, 2^m - 1$ ）。ここで  $R$  の各辺（

エッジ) の方向を以下のように定める。

【0034】

【数5】

$$\overrightarrow{p_{(i,j)}^{(m,s)} p_{(i+1,j)}^{(m,s)}}; \overrightarrow{p_{(i+1,j)}^{(m,s)} p_{(i+1,j+1)}^{(m,s)}}; \overrightarrow{p_{(i+1,j+1)}^{(m,s)} p_{(i,j+1)}^{(m,s)}} \text{ and } \overrightarrow{p_{(i,j+1)}^{(m,s)} p_{(i,j)}^{(m,s)}} \quad (\text{式5})$$

この正方形は写像  $f$  によって終点画像平面における四辺形に写像されなければならない。  $f^{(m,s)}(R)$  によって示される四辺形、

【0035】

【数6】

$$q_{f(i,j)}^{(m,s)} q_{f(i+1,j)}^{(m,s)} q_{f(i+1,j+1)}^{(m,s)} q_{f(i,j+1)}^{(m,s)} \quad (\text{式6})$$

は、以下の全単射条件を満たす必要がある。

【0036】

1. 四辺形  $f^{(m,s)}(R)$  のエッジは互いに交差しない。
2.  $f^{(m,s)}(R)$  のエッジの方向は  $R$  のそれらに等しい (図2の場合、時計回り)。
3. 緩和条件として収縮写像 (リトラクション: retractions) を許す。

【0037】

何らかの緩和条件を設けないかぎり、全単射条件を完全に満たす写像は単位写像しかないためである。ここでは  $f^{(m,s)}(R)$  のひとつのエッジの長さが0、すなわち  $f^{(m,s)}(R)$  は三角形になってもよい。しかし、面積が0となるような図形、すなわち1点または1本の線分になってはならない。図2 ( $R$ ) がもとの四辺形の場合、図2 (A) と図2 (D) は全単射条件を満たすが、図2 (B)、図2 (C)、図2 (E) は満たさない。

【0038】

実際のインプリメンテーションでは、写像が全射であることを容易に保証すべく、さらに以下の条件を課してもよい。つまり始点画像の境界上の各画素は、終点画像において同じ位置を占める画素に写影されるというものである。すなわち、 $f(i,j) = (i,j)$  (ただし  $i=0, i=2^m-1, j=0, j=2^m$

-1の4本の線上)である。この条件を以下「付加条件」とも呼ぶ。

【0039】

[1. 3. 2] 写像のエネルギー

[1. 3. 2. 1] 画素の輝度に関するコスト

写像  $f$  のエネルギーを定義する。エネルギーが最小になる写像を探すことが目的である。エネルギーは主に、始点画像の画素の輝度とそれに対応する終点画像の画素の輝度の差で決まる。すなわち、写像  $f^{(m, s)}$  の点  $(i, j)$  におけるエネルギー  $C^{(m, s)}(i, j)$  は次式によって定まる。

【0040】

【数7】

$$C_{(i,j)}^{(m,s)} = |V(p_{(i,j)}^{(m,s)}) - V(q_{f(i,j)}^{(m,s)})|^2 \quad (\text{式7})$$

ここで、 $V(p^{(m, s)}(i, j))$  及び  $V(q^{(m, s)}_{f(i, j)})$  はそれぞれ画素  $p^{(m, s)}(i, j)$  及び  $q^{(m, s)}_{f(i, j)}$  の輝度である。 $f$  のトータルのエネルギー  $C^{(m, s)}$  は、マッチングを評価するひとつの評価式であり、つぎに示す  $C^{(m, s)}(i, j)$  の合計で定義できる。

【0041】

【数8】

$$C_f^{(m,s)} = \sum_{i=0}^{2^m-1} \sum_{j=0}^{2^m-1} C_{(i,j)}^{(m,s)} \quad (\text{式8})$$

[1. 3. 2. 2] 滑らかな写像のための画素の位置に関するコスト

滑らかな写像を得るために、写像に関する別のエネルギー  $D_f$  を導入する。このエネルギーは画素の輝度とは関係なく、 $p^{(m, s)}(i, j)$  および  $q^{(m, s)}_{f(i, j)}$  の位置によって決まる ( $i = 0, \dots, 2^m - 1, j = 0, \dots, 2^m - 1$ )。点  $(i, j)$  における写像  $f^{(m, s)}$  のエネルギー  $D^{(m, s)}(i, j)$  は次式で定義される。

【0042】

【数 9】

$$D_{(i,j)}^{(m,s)} = \eta E_{0(i,j)}^{(m,s)} + E_{1(i,j)}^{(m,s)} \quad (\text{式 9})$$

ただし、係数パラメータ  $\eta$  は 0 以上の実数であり、また、

【数 10】

$$E_{0(i,j)}^{(m,s)} = \|(i,j) - f^{(m,s)}(i,j)\|^2 \quad (\text{式 10})$$

【数 11】

$$E_{1(i,j)}^{(m,s)} = \sum_{i'=i-1}^i \sum_{j'=j-1}^j \|(f^{(m,s)}(i,j) - (i,j)) - (f^{(m,s)}(i',j') - (i',j'))\|^2 / 4 \quad (\text{式 11})$$

とする。ここで、

【数 12】

$$\|(x,y)\| = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (\text{式 12})$$

であり、 $i' < 0$  および  $j' < 0$  に対して  $f(i', j')$  は 0 と決める。 $E_0$  は  $(i, j)$  及び  $f(i, j)$  の距離で決まる。 $E_0$  は画素があまりにも離れた画素へ写影されることを防ぐ。ただし  $E_0$  は、後に別のエネルギー関数で置き換える。 $E_1$  は写像の滑らかさを保証する。 $E_1$  は、 $p(i, j)$  の変位とその隣接点の変位の間の隔たりを表す。以上の考察をもとに、マッチングを評価する別の評価式であるエネルギー  $D_f$  は次式で定まる。

【数 13】

$$D_f^{(m,s)} = \sum_{i=0}^{i=2^m-1} \sum_{j=0}^{j=2^m-1} D_{(i,j)}^{(m,s)} \quad (\text{式 13})$$

【0043】

[1. 3. 2. 3] 写像の総エネルギー

写像の総エネルギー、すなわち複数の評価式の統合に係る総合評価式は  $\lambda C^{(m,s)}_f + D^{(m,s)}_f$  で定義される。ここで係数パラメータ  $\lambda$  は 0 以上の実数である。目的は総合評価式が極値をとる状態を検出すること、すなわち次式で示す最小エネルギーを与える写像を見いだすことである。

【0044】

【数14】

$$\min_f \lambda C_f^{(m,s)} + D_f^{(m,s)} \quad (\text{式14})$$

$\lambda = 0$  及び  $\eta = 0$  の場合、写像は単位写像になることに注意すべきである（すなわち、全ての  $i = 0, \dots, 2^m - 1$  及び  $j = 0, \dots, 2^m - 1$  に対して  $f^{(m,s)}(i, j) = (i, j)$  となる）。後述のごとく、本前提技術では最初に  $\lambda = 0$  及び  $\eta = 0$  の場合を評価するため、写像を単位写像から徐々に変形していくことができる。仮に総合評価式の  $\lambda$  の位置を変えて  $C^{(m,s)}_f + \lambda D^{(m,s)}_f$  と定義したとすれば、 $\lambda = 0$  及び  $\eta = 0$  の場合に総合評価式が  $C^{(m,s)}_f$  だけになり、本来何等関連のない画素どうしが単に輝度が近いというだけで対応づけられ、写像が無意味なものになる。そうした無意味な写像をもとに写像を変形していてもまったく意味をなさない。このため、単位写像が評価の開始時点で最良の写像として選択されるよう係数パラメータの与えかたが配慮されている。

【0045】

オプティカルフローもこの前提技術同様、画素の輝度の差と滑らかさを考慮する。しかし、オプティカルフローは画像の変換に用いることはできない。オブジェクトの局所的な動きしか考慮しないためである。前提技術に係る特異点フィルタを用いることによって大域的な対応関係を検出することができる。

【0046】

### 〔1. 3. 3〕多重解像度の導入による写像の決定

最小エネルギーを与え、全単射条件を満足する写像  $f_{\min}$  を多重解像度の階層を用いて求める。各解像度レベルにおいて始点副画像及び終点副画像間の写像を計算する。解像度の階層の最上位（最も粗いレベル）からスタートし、各解像度レベルの写像を、他のレベルの写像を考慮に入れながら決定する。各レベルにおける写像の候補の数は、より高い、つまりより粗いレベルの写像を用いることによって制限される。より具体的には、あるレベルにおける写像の決定に際し、それよりひとつ粗いレベルにおいて求められた写像が一種の拘束条件として課さ

れる。

【0047】

まず、

【数15】

$$(i', j') = ([\frac{i}{2}], [\frac{j}{2}]) \quad (\text{式15})$$

が成り立つとき、 $p^{(m-1, s)}(i', j')$ 、 $q^{(m-1, s)}(i', j')$  をそれぞれ  $p^{(m, s)}(i, j)$ 、 $q^{(m, s)}(i, j)$  の parent と呼ぶことにする。 $[x]$  は  $x$  を越えない最大整数である。また  $p^{(m, s)}(i, j)$ 、 $q^{(m, s)}(i, j)$  をそれぞれ  $p^{(m-1, s)}(i', j')$ 、 $q^{(m-1, s)}(i', j')$  の child と呼ぶ。関数 parent  $(i, j)$  は次式で定義される。

【数16】

$$\text{parent}(i, j) = ([\frac{i}{2}], [\frac{j}{2}]) \quad (\text{式16})$$

$p^{(m, s)}(i, j)$  と  $q^{(m, s)}(k, 1)$  の間の写像  $f^{(m, s)}$  は、エネルギー計算を行って最小になったものを見つけることで決定される。 $f^{(m, s)}(i, j) = (k, 1)$  の値は  $f^{(m-1, s)}(m=1, 2, \dots, n)$  を用いることによって、以下のように決定される。まず、 $q^{(m, s)}(k, 1)$  は次の四辺形の内部になければならないという条件を課し、全単射条件を満たす写像のうち現実性の高いものを絞り込む。

【0048】

【数17】

$$q_{g^{(m, s)}(i-1, j-1)}^{(m, s)} q_{g^{(m, s)}(i-1, j+1)}^{(m, s)} q_{g^{(m, s)}(i+1, j+1)}^{(m, s)} q_{g^{(m, s)}(i+1, j-1)}^{(m, s)}$$

(式17)

ただしここで、

【数18】

$$g^{(m, s)}(i, j) = f^{(m-1, s)}(\text{parent}(i, j)) + f^{(m-1, s)}(\text{parent}((i, j) + (1, 1)))$$

(式18)

である。こうして定めた四辺形を、以下  $p^{(m, s)}(i, j)$  の相続 (inherited) 四辺形と呼ぶことにする。相続四辺形の内部において、エネルギーを最小にする画素を求める。

## 【 0 0 4 9 】

図 3 は以上の手順を示している。同図において、始点画像の A, B, C, D の画素は、第  $m-1$  レベルにおいてそれぞれ終点画像の  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$ ,  $D'$  へ写影される。画素  $p^{(m, s)}(i, j)$  は、相続四辺形  $A' B' C' D'$  の内部に存在する画素  $q^{(m, s)}(i, j)$  へ写影されなければならない。以上の配慮により、第  $m-1$  レベルの写像から第  $m$  レベルの写像への橋渡しがなされる。

## 【 0 0 5 0 】

先に定義したエネルギー  $E_0$  は、第  $m$  レベルにおける副写像  $f^{(m, 0)}$  を計算するために、次式に置き換える。

## 【数 1 9】

$$E_{0(i,j)} = \|f^{(m,0)}(i,j) - g^{(m)}(i,j)\|^2 \quad (\text{式 1 9})$$

また、副写像  $f^{(m, s)}$  を計算するためには次式を用いる。

## 【数 2 0】

$$E_{0(i,j)} = \|f^{(m,s)}(i,j) - f^{(m,s-1)}(i,j)\|^2 \quad (1 \leq i) \quad (\text{式 2 0})$$

こうしてすべての副写像のエネルギーを低い値に保つ写像が得られる。式 2 0 により、異なる特異点に対応する副写像が、副写像どうしの類似度が高くなるように同一レベル内で関連づけられる。式 1 9 は、 $f^{(m, s)}(i, j)$  と、第  $m-1$  レベルの画素の一部と考えた場合の  $(i, j)$  が射影されるべき点の位置との距離を示している。

## 【 0 0 5 1 】

仮に、相続四辺形  $A' B' C' D'$  の内部に全単射条件を満たす画素が存在しない場合は以下の措置をとる。まず、 $A' B' C' D'$  の境界線からの距離が  $L$  (始めは  $L=1$ ) である画素を調べる。それらのうち、エネルギーが最小になるものが全単射条件を満たせば、これを  $f^{(m, s)}(i, j)$  の値として選択す

る。そのような点が発見されるか、または $L$ がその上限の $L^{(m)}_{max}$ に到達するまで、 $L$ を大きくしていく。 $L^{(m)}_{max}$ は各レベル $m$ に対して固定である。そのような点が全く発見されない場合、全単射の第3の条件を一時的に無視して変換先の四辺形の面積がゼロになるような写像も認め、 $f^{(m, s)}(i, j)$ を決定する。それでも条件を満たす点が見つからない場合、つぎに全単射の第1及び第2条件を外す。

## 【0052】

多重解像度を用いる近似法は、写像が画像の細部に影響されることを回避しつつ、画像間の大域的な対応関係を決定するために必須である。多重解像度による近似法を用いなければ、距離の遠い画素間の対応関係を見いだすことは不可能である。その場合、画像のサイズはきわめて小さなものに限定しなければならず、変化の小さな画像しか扱うことができない。さらに、通常写像に滑らかさを要求するため、そうした画素間の対応関係を見つけにくくしている。距離のある画素から画素への写像のエネルギーは高いためである。多重解像度を用いた近似法によれば、そうした画素間の適切な対応関係を見いだすことができる。それらの距離は、解像度の階層の上位レベル（粗いレベル）において小さいためである。

## 【0053】

## 〔1. 4〕最適なパラメータ値の自動決定

既存のマッチング技術の主な欠点のひとつに、パラメータ調整の困難さがある。大抵の場合、パラメータの調整は人手作業によって行われ、最適な値を選択することはきわめて難しい。前提技術に係る方法によれば、最適なパラメータ値を完全に自動決定することができる。

## 【0054】

前提技術に係るシステムはふたつのパラメータ、 $\lambda$ 及び $\eta$ を含む。端的にいえば、 $\lambda$ は画素の輝度の差の重みであり、 $\eta$ は写像の剛性を示している。これらのパラメータの値は初期値が0であり、まず $\eta = 0$ に固定して $\lambda$ を0から徐々に増加させる。 $\lambda$ の値を大きくしながら、しかも総合評価式（式14）の値を最小にする場合、各副写像に関する $C^{(m, s)}_f$ の値は一般に小さくなっていく。このことは基本的にふたつの画像がよりマッチしなければならないことを意味する



。しかし、 $\lambda$  が最適値を超えると以下の現象が発生する。

【0055】

1. 本来対応すべきではない画素どうしが、単に輝度が近いというだけで誤って対応づけられる。

2. その結果、画素どうしの対応関係がおかしくなり、写像がくずれはじめる。

3. その結果、式14において  $D(m, s)_f$  が急激に増加しようとする。

4. その結果、式14の値が急激に増加しようとするため、 $D(m, s)_f$  の急激な増加を抑制するよう  $f(m, s)$  が変化し、その結果  $C(m, s)_f$  が増加する。

したがって、 $\lambda$  を増加させながら式14が最小値をとるという状態を維持しつつ  $C(m, s)_f$  が減少から増加に転じる閾値を検出し、その  $\lambda$  を  $\eta = 0$  における最適値とする。つぎに  $\eta$  を少しずつ増やして  $C(m, s)_f$  の挙動を検査し、後述の方法で  $\eta$  を自動決定する。その  $\eta$  に対応して  $\lambda$  も決まる。

【0056】

この方法は、人間の視覚システムの焦点機構の動作に似ている。人間の視覚システムでは、一方の目を動かしながら左右両目の画像のマッチングがとられる。オブジェクトがはっきりと認識できるとき、その目が固定される。

【0057】

[1. 4. 1]  $\lambda$  の動的決定

$\lambda$  は0から所定の刻み幅で増加されていき、 $\lambda$  の値が変わる度に副写像が評価される。式14のごとく、総エネルギーは  $\lambda C(m, s)_f + D(m, s)_f$  によって定義される。式9の  $D(m, s)_f$  は滑らかさを表すもので、理論的には単位写像の場合に最小になり、写像が歪むほど  $E_0$  も  $E_1$  も増加していく。 $E_1$  は整数であるから、 $D(m, s)_f$  の最小刻み幅は1である。このため、現在の  $\lambda C(m, s)_{(i, j)}$  の変化(減少量)が1以上でなければ、写像を変化させることによって総エネルギーを減らすことはできない。なぜなら、写像の変化に伴って  $D(m, s)_f$  は1以上増加するため、 $\lambda C(m, s)_{(i, j)}$  が1以上減少しない限り総エネルギーは減らないためである。

【0058】

この条件のもと、 $\lambda$  の増加に伴い、正常な場合に  $C^{(m, s)}_{(i, j)}$  が減少することを示す。 $C^{(m, s)}_{(i, j)}$  のヒストグラムを  $h(l)$  と記述する。 $h(l)$  はエネルギー  $C^{(m, s)}_{(i, j)}$  が  $l^2$  である画素の数である。 $\lambda_1^2 \geq 1$  が成り立つために、例えば  $l^2 = 1/\lambda$  の場合を考える。 $\lambda$  が  $\lambda_1$  から  $\lambda_2$  まで微小量変化するとき、

【0059】

【数21】

$$A = \sum_{l=\lceil \frac{1}{\lambda_2} \rceil}^{\lceil \frac{1}{\lambda_1} \rceil} h(l) \simeq \int_{\frac{1}{\lambda_2}}^{\frac{1}{\lambda_1}} h(l) dl = - \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} h(l) \frac{1}{\lambda^{3/2}} d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{h(l)}{\lambda^{3/2}} d\lambda$$

(式21)

で示される  $A$  個の画素が、

【数22】

$$C_f^{(m, s)} - l^2 = C_f^{(m, s)} - \frac{1}{\lambda} \quad (\text{式22})$$

のエネルギーを持つより安定的な状態に変化する。ここでは仮に、これらの画素のエネルギーがすべてゼロになると近似している。この式は  $C^{(m, s)}_f$  の値が、

【数23】

$$\partial C_f^{(m, s)} = -\frac{A}{\lambda} \quad (\text{式23})$$

だけ変化することを示し、その結果、

【数24】

$$\frac{\partial C_f^{(m, s)}}{\partial \lambda} = -\frac{h(l)}{\lambda^{5/2}} \quad (\text{式24})$$

が成立する。 $h(l) > 0$  であるから、通常  $C^{(m, s)}_f$  は減少する。しかし、 $\lambda$  が最適値を越えようとするとき、上述の現象、つまり  $C^{(m, s)}_f$  の増加が発生する。この現象を検出することにより、 $\lambda$  の最適値を決定する。

【0060】

なお、 $H (h > 0)$  及び  $k$  を定数とするとき、

【数 25】

$$h(l) = H l^k = \frac{H}{\lambda^{k/2}} \quad (\text{式 25})$$

と仮定すれば、

【数 26】

$$\frac{\partial C_f^{(m,s)}}{\partial \lambda} = -\frac{H}{\lambda^{5/2+k/2}} \quad (\text{式 26})$$

が成り立つ。このとき  $k \neq -3$  であれば、

【数 27】

$$C_f^{(m,s)} = C + \frac{H}{(3/2 + k/2)\lambda^{3/2+k/2}} \quad (\text{式 27})$$

となる。これが  $C^{(m, s)}_f$  の一般式である ( $C$  は定数)。

【0061】

$\lambda$  の最適値を検出する際、さらに安全を見て、全単射条件を破る画素の数を検査してもよい。ここで各画素の写像を決定する際、全単射条件を破る確率を  $p_0$  と仮定する。この場合、

【数 28】

$$\frac{\partial A}{\partial \lambda} = \frac{h(l)}{\lambda^{3/2}} \quad (\text{式 28})$$

が成立しているため、全単射条件を破る画素の数は次式の率で増加する。

【数 29】

$$B_0 = \frac{h(l)p_0}{\lambda^{3/2}} \quad (\text{式 29})$$

従って、

【数 30】

$$\frac{B_0 \lambda^{3/2}}{p_0 h(l)} = 1 \quad (\text{式 30})$$

は定数である。仮に  $h(l) = H l^k$  を仮定するとき、例えば、

【数 31】

$$B_0 \lambda^{3/2+k/2} = p_0 H \quad (\text{式 31})$$

は定数になる。しかし $\lambda$ が最適値を越えると、上の値は急速に増加する。この現象を検出し、 $B_0 \lambda^{3/2 + k/2} / 2^m$ の値が異常値 $B_{0 \text{ thresh}}$ を越えるかどうかを検査し、 $\lambda$ の最適値を決定することができる。同様に、 $B_1 \lambda^{3/2 + k/2} / 2^m$ の値が異常値 $B_{1 \text{ thresh}}$ を越えるかどうかを検査することにより、全単射の第3の条件を破る画素の増加率 $B_1$ を確認する。ファクター $2^m$ を導入する理由は後述する。このシステムはこれら2つの閾値に敏感ではない。これらの閾値は、エネルギー $C^{(m, s)}_f$ の観察では検出し損なった写像の過度の歪みを検出するために用いることができる。

## 【0062】

なお実験では、副写像 $f^{(m, s)}$ を計算する際、もし $\lambda$ が0.1を越えたら $f^{(m, s)}$ の計算は止めて $f^{(m, s+1)}$ の計算に移行した。 $\lambda > 0.1$ のとき、画素の輝度255レベル中のわずか「3」の違いが副写像の計算に影響したためであり、 $\lambda > 0.1$ のとき正しい結果を得ることは困難だったためである。

## 【0063】

[1. 4. 2] ヒストグラム $h(1)$ 

$C^{(m, s)}_f$ の検査はヒストグラム $h(1)$ に依存しない。全単射及びその第3の条件の検査の際、 $h(1)$ に影響を受けうる。実際に $(\lambda, C^{(m, s)}_f)$ をプロットすると、 $k$ は通常1付近にある。実験では $k=1$ を用い、 $B_0 \lambda^2$ と $B_1 \lambda^2$ を検査した。仮に $k$ の本当の値が1未満であれば、 $B_0 \lambda^2$ と $B_1 \lambda^2$ は定数にならず、ファクター $\lambda^{(1-k)/2}$ に従って徐々に増加する。 $h(1)$ が定数であれば、例えばファクターは $\lambda^{1/2}$ である。しかし、こうした差は閾値 $B_{0 \text{ thresh}}$ を正しく設定することによって吸収することができる。

## 【0064】

ここで次式のごとく始点画像を中心が $(x_0, y_0)$ 、半径 $r$ の円形のオブジェクトであると仮定する。

## 【数32】

$$p_{(i,j)} = \begin{cases} \frac{255}{r} c(\sqrt{(i-x_0)^2 + (j-y_0)^2}) & (\sqrt{(i-x_0)^2 + (j-y_0)^2} \leq r) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (\text{式32})$$

一方、終点画像は、次式のごとく中心  $(x_1, y_1)$ 、半径が  $r$  のオブジェクトであるとする。

【数 3 3】

$$q_{(i,j)} = \begin{cases} \frac{255}{r} c(\sqrt{(i-x_1)^2 + (j-y_1)^2}) & (\sqrt{(i-x_1)^2 + (j-y_1)^2} \leq r) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (\text{式 3 3})$$

【0065】

ここで  $c(x)$  は  $c(x) = x^k$  の形であるとする。中心  $(x_0, y_0)$  及び  $(x_1, y_1)$  が十分遠い場合、ヒストグラム  $h(l)$  は次式の形となる。

【数 3 4】

$$h(l) \propto r l^k \quad (k \neq 0) \quad (\text{式 3 4})$$

$k = 1$  のとき、画像は背景に埋め込まれた鮮明な境界線を持つオブジェクトを示す。このオブジェクトは中心が暗く、周囲にいくに従って明るくなる。 $k = -1$  のとき、画像は曖昧な境界線を持つオブジェクトを表す。このオブジェクトは中心が最も明るく、周囲にいくに従って暗くなる。一般のオブジェクトはこれらふたつのタイプのオブジェクトの間にあると考えてもさして一般性を失わない。したがって、 $k$  は  $-1 \leq k \leq 1$  として大抵の場合をカバーでき、式 27 が一般に減少関数であることが保障される。

【0066】

なお、式 34 からわかるように、 $r$  は画像の解像度に影響されること、すなわち  $r$  は  $2m$  に比例することに注意すべきである。このために [1. 4. 1] においてファクター  $2m$  を導入した。

【0067】

[1. 4. 3]  $\eta$  の動的決定

パラメータ  $\eta$  も同様の方法で自動決定できる。はじめに  $\eta = 0$  とし、最も細かい解像度における最終的な写像  $f^{(n)}$  及びエネルギー  $C^{(n)}_f$  を計算する。つづいて、 $\eta$  をある値  $\Delta\eta$  だけ増加させ、再び最も細かい解像度における最終写像  $f^{(n)}$  及びエネルギー  $C^{(n)}_f$  を計算し直す。この過程を最適値が求まるまで続ける。 $\eta$  は写像の剛性を示す。次式の重みだからである。

【0068】

【数 3 5】

$$E_{0(i,j)}^{(m,s)} = \|f^{(m,s)}(i,j) - f^{(m,s-1)}(i,j)\|^2$$

(式 3 5)

$\eta$  が 0 のとき、 $D^{(n)}_f$  は直前の副写像と無関係に決定され、現在の副写像は弾性的に変形され、過度に歪むことになる。一方、 $\eta$  が非常に大きな値のとき、 $D^{(n)}_f$  は直前の副写像によってほぼ完全に決まる。このとき副写像は非常に剛性が高く、画素は同じ場所に射影される。その結果、写像は単位写像になる。 $\eta$  の値が 0 から次第に増えるとき、後述のごとく  $C^{(n)}_f$  は徐々に減少する。しかし  $\eta$  の値が最適値を越えると、図 4 に示すとおり、エネルギーは増加し始める。同図の X 軸は  $\eta$ 、Y 軸は  $C_f$  である。

【0 0 6 9】

この方法で  $C^{(n)}_f$  を最小にする最適な  $\eta$  の値を得ることができる。しかし、 $\lambda$  の場合に比べていろいろな要素が計算に影響する結果、 $C^{(n)}_f$  は小さく揺らぎながら変化する。 $\lambda$  の場合は、入力が微小量変化するたびに副写像を 1 回計算しなおすだけだが、 $\eta$  の場合はすべての副写像が計算しなおされるためである。このため、得られた  $C^{(n)}_f$  の値が最小であるかどうかを即座に判断することはできない。最小値の候補が見つければ、さらに細かい区間を設定することによって真の最小値を探す必要がある。

【0 0 7 0】

[ 1 . 5 ] スーパーサンプリング

画素間の対応関係を決定する際、自由度を増やすために、 $f^{(m,s)}$  の値域を  $R \times R$  に拡張することができる ( $R$  は実数の集合)。この場合、終点画像の画素の輝度が補間され、非整数点、

【0 0 7 1】

【数 3 6】

$$V(q_{f^{(m,s)}(i,j)}^{(m,s)}) \quad (\text{式 3 6})$$

における輝度を持つ  $f^{(m,s)}$  が提供される。つまりスーパーサンプリングが

行われる。実験では、 $f(m, s)$  は整数及び半整数値をとることが許され、

【数 37】

$$V(q_{(i,j)+(0.5,0.5)}^{(m,s)}) \quad (\text{式 37})$$

は、

【数 38】

$$(V(q_{(i,j)}^{(m,s)}) + V(q_{(i,j)+(1,1)}^{(m,s)}))/2 \quad (\text{式 38})$$

によって与えられた。

【0072】

#### [1. 6] 各画像の画素の輝度の正規化

始点画像と終点画像がきわめて異なるオブジェクトを含んでいるとき、写像の計算に元の画素の輝度がそのままでは利用しにくい。輝度の差が大きいために輝度に関するエネルギー  $C(m, s)_f$  が大きくなりすぎ、正しい評価がしづらいためである。

【0073】

例えば、人の顔と猫の顔のマッチングをとる場合を考える。猫の顔は毛で覆われており、非常に明るい画素と非常に暗い画素が混じっている。この場合、ふたつの顔の間の副写像を計算するために、まず副画像を正規化する。すなわち、最も暗い画素の輝度を 0、最も明るいそれを 255 に設定し、他の画素の輝度は線形補間によって求めておく。

【0074】

#### [1. 7] インプリメンテーション

始点画像のスキャンに従って計算がリニアに進行する帰納的な方法を用いる。始めに、1 番上の左端の画素  $(i, j) = (0, 0)$  について  $f(m, s)$  の値を決定する。次に  $i$  を 1 ずつ増やししながら各  $f(m, s)(i, j)$  の値を決定する。 $i$  の値が画像の幅に到達したとき、 $j$  の値を 1 増やし、 $i$  を 0 に戻す。以降、始点画像のスキャンに伴い  $f(m, s)(i, j)$  を決定していく。すべての点について画素の対応が決まれば、ひとつの写像  $f(m, s)$  が決まる。

## 【0075】

ある  $p(i, j)$  について対応点  $q_f(i, j)$  が決まれば、つぎに  $p(i, j+1)$  の対応点  $q_f(i, j+1)$  が決められる。この際、 $q_f(i, j+1)$  の位置は全単射条件を満たすために、 $q_f(i, j)$  の位置によって制限される。したがって、先に対応点が決まる点ほどこのシステムでは優先度が高くなる。つねに  $(0, 0)$  が最も優先される状態がつづく、求められる最終の写像に余計な偏向が加わる。本前提技術ではこの状態を回避するために、 $f(m, s)$  を以下の方法で決めていく。

## 【0076】

まず  $(s \bmod 4)$  が0の場合、 $(0, 0)$  を開始点とし  $i$  及び  $j$  を徐々に増やしながら決めていく。 $(s \bmod 4)$  が1の場合、最上行の右端点を開始点とし、 $i$  を減少、 $j$  を増加させながら決めていく。 $(s \bmod 4)$  が2のとき、最下行の右端点を開始点とし、 $i$  及び  $j$  を減少させながら決めていく。 $(s \bmod 4)$  が3の場合、最下行の左端点を開始点とし、 $i$  を増加、 $j$  を減少させながら決めていく。解像度が最も細かい第  $n$  レベルには副写像という概念、すなわちパラメータ  $s$  が存在しないため、仮に  $s = 0$  及び  $s = 2$  であるとしてふたつの方向を連続的に計算した。

## 【0077】

実際のインプリメンテーションでは、全単射条件を破る候補に対してペナルティを与えることにより、候補  $(k, l)$  の中からできる限り全単射条件を満たす  $f(m, s)(i, j)$  ( $m = 0, \dots, n$ ) の値を選んだ。第3の条件を破る候補のエネルギー  $D(k, l)$  には  $\phi$  を掛け、一方、第1または第2の条件を破る候補には  $\psi$  を掛ける。今回は  $\phi = 2$ 、 $\psi = 100000$  を用いた。

## 【0078】

前述の全単射条件のチェックのために、実際の手続として  $(k, l) = f(m, s)(i, j)$  を決定する際に以下のテストを行った。すなわち  $f(m, s)(i, j)$  の相続四辺形に含まれる各格子点  $(k, l)$  に対し、次式の外積の  $z$  成分が0以上になるかどうかを確かめる。

## 【0079】



【数 39】

$$W = \vec{A} \times \vec{B} \quad (\text{式 39})$$

ただしここで、

【数 40】

$$\vec{A} = \overrightarrow{q_{f(m,s)(i,j-1)}^{(m,s)} q_{f(m,s)(i+1,j-1)}^{(m,s)}} \quad (\text{式 40})$$

【数 41】

$$\vec{B} = \overrightarrow{q_{f(m,s)(i,j-1)}^{(m,s)} q_{(k,l)}^{(m,s)}} \quad (\text{式 41})$$

である（ここでベクトルは三次元ベクトルとし、z 軸は直交右手座標系において定義される）。もし W が負であれば、その候補については  $D(m, s)(k, l)$  に  $\phi$  を掛けることによってペナルティを与え、できるかぎり選択しないようにする。

【0080】

図 5 (a)、図 5 (b) はこの条件を検査する理由を示している。図 5 (a) はペナルティのない候補、図 5 (b) はペナルティがある候補をそれぞれ表す。隣接画素  $(i, j+1)$  に対する写像  $f(m, s)(i, j+1)$  を決定する際、W の z 成分が負であれば始点画像平面上において全単射条件を満足する画素は存在しない。なぜなら、 $q(m, s)(k, l)$  は隣接する四辺形の境界線を越えるためである。

【0081】

[1. 7. 1] 副写像の順序

インプリメンテーションでは、解像度レベルが偶数のときには  $\sigma(0) = 0$ 、 $\sigma(1) = 1$ 、 $\sigma(2) = 2$ 、 $\sigma(3) = 3$ 、 $\sigma(4) = 0$  を用い、奇数のときは  $\sigma(0) = 3$ 、 $\sigma(1) = 2$ 、 $\sigma(2) = 1$ 、 $\sigma(3) = 0$ 、 $\sigma(4) = 3$  を用いた。このことで、副写像を適度にシャッフルした。なお、本来副写像は 4 種類であり、s は 0～3 のいずれかである。しかし、実際には  $s = 4$  に相当する処理を行った。その理由は後述する。

## 【0082】

## [1. 8] 補間計算

始点画像と終点画像の間の写像が決定された後、対応しあう画素の輝度が補間される。実験では、トライリニア補間を用いた。始点画像平面における正方形  $p(i, j) \ p(i+1, j) \ p(i, j+1) \ p(i+1, j+1)$  が終点画像平面上の四辺形  $q_f(i, j) \ q_f(i+1, j) \ q_f(i, j+1) \ q_f(i+1, j+1)$  に射影されると仮定する。簡単のため、画像間の距離を1とする。始点画像平面からの距離が  $t$  ( $0 \leq t \leq 1$ ) である中間画像の画素  $r(x, y, t)$  ( $0 \leq x \leq N-1, 0 \leq y \leq M-1$ ) は以下の要領で求められる。まず画素  $r(x, y, t)$  の位置 (ただし  $x, y, t \in R$ ) を次式で求める。

## 【0083】

## 【数42】

$$\begin{aligned} (x, y) = & (1-dx)(1-dy)(1-t)(i, j) + (1-dx)(1-dy)tf(i, j) \\ & + dx(1-dy)(1-t)(i+1, j) + dx(1-dy)tf(i+1, j) \\ & + (1-dx)dy(1-t)(i, j+1) + (1-dx)dyt(i, j+1) \\ & + dx dy(1-t)(i+1, j+1) + dx dyt(i+1, j+1) \end{aligned}$$

(式42)

つづいて  $r(x, y, t)$  における画素の輝度が次の式を用いて決定される。

## 【0084】

## 【数43】

$$\begin{aligned} V(r(x, y, t)) = & (1-dx)(1-dy)(1-t)V(p_{(i,j)}) + (1-dx)(1-dy)tV(q_{f(i,j)}) \\ & + dx(1-dy)(1-t)V(p_{(i+1,j)}) + dx(1-dy)tV(q_{f(i+1,j)}) \\ & + (1-dx)dy(1-t)V(p_{(i,j+1)}) + (1-dx)dytV(q_{f(i,j+1)}) \\ & + dx dy(1-t)V(p_{(i+1,j+1)}) + dx dytV(q_{f(i+1,j+1)}) \end{aligned}$$

(式43)

ここで  $dx$  及び  $dy$  はパラメータであり、0から1まで変化する。

## 【0085】

## [1. 9] 拘束条件を課したときの写像

いままでは拘束条件がいっさい存在しない場合の写像の決定を述べた。しかし

、始点画像と終点画像の特定の画素間に予め対応関係が規定されているとき、これを拘束条件としたうえで写像を決定することができる。

【0086】

基本的な考えは、まず始点画像の特定の画素を終点画像の特定の画素に移す大まかな写像によって始点画像を大まかに変形し、しかる後、写像  $f$  を正確に計算する。

【0087】

まず始めに、始点画像の特定の画素を終点画像の特定の画素に射影し、始点画像の他の画素を適当な位置に射影する大まかな写像を決める。すなわち、特定の画素に近い画素は、その特定の画素が射影される場所の近くに射影されるような写像である。ここで第  $m$  レベルの大まかな写像を  $F^{(m)}$  と記述する。

【0088】

大まかな写像  $F$  は以下の要領で決める。まず、いくつかの画素について写像を特定する。始点画像について  $n_s$  個の画素、

【数44】

$$p(i_0, j_0), p(i_1, j_1), \dots, p(i_{n_s-1}, j_{n_s-1}) \quad (\text{式 4 4})$$

を特定するとき、以下の値を決める。

【数45】

$$\begin{aligned} F^{(n)}(i_0, j_0) &= (k_0, l_0), \\ F^{(n)}(i_1, j_0) &= (k_1, l_1), \dots, \\ F^{(n)}(i_{n_s-1}, j_{n_s-1}) &= (k_{n_s-1}, l_{n_s-1}) \end{aligned}$$

(式 4 5)

始点画像の他の画素の変位量は、 $p(i_h, j_h)$  ( $h = 0, \dots, n_s - 1$ ) の変位に重み付けをして求められる平均である。すなわち画素  $p(i, j)$  は、終点画像の以下の画素に射影される。

【0089】

【数 4 6】

$$F^{(m)}(i, j) = \frac{(i, j) + \sum_{h=0}^{h=n_s-1} (k_h - i_h, l_h - j_h) \text{weight}_h(i, j)}{2^{n-m}} \quad (\text{式 4 6})$$

ただしここで、

【数 4 7】

$$\text{weight}_h(i, j) = \frac{1/\|(i_h - i, j_h - j)\|^2}{\text{total weight}(i, j)} \quad (\text{式 4 7})$$

【数 4 8】

$$\text{total weight}(i, j) = \sum_{h=0}^{h=n_s-1} 1/\|(i_h - i, j_h - j)\|^2 \quad (\text{式 4 8})$$

とする。

【0 0 9 0】

つづいて、 $F^{(m)}$  に近い候補写像  $f$  がより少ないエネルギーを持つように、その写像  $f$  のエネルギー  $D^{(m, s)}(i, j)$  を変更する。正確には、 $D^{(m, s)}(i, j)$  は、

【数 4 9】

$$D_{(i,j)}^{(m,s)} = E_{0(i,j)}^{(m,s)} + \eta E_{1(i,j)}^{(m,s)} + \kappa E_{2(i,j)}^{(m,s)} \quad (\text{式 4 9})$$

である。ただし、

【数 5 0】

$$E_{2(i,j)}^{(m,s)} = \begin{cases} 0, & \text{if } \|F^{(m)}(i, j) - f^{(m,s)}(i, j)\|^2 \leq \lfloor \frac{\rho^2}{2^{2(n-m)}} \rfloor \\ \|F^{(m)}(i, j) - f^{(m,s)}(i, j)\|^2, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{式 5 0})$$

であり、 $\kappa, \rho \geq 0$  とする。最後に、前述の写像の自動計算プロセスにより、 $f$  を完全に決定する。

【0 0 9 1】

ここで、 $f^{(m, s)}(i, j)$  が  $F^{(m)}(i, j)$  に十分近いとき、つまりそれ

らの距離が、

【数 5 1】

$$\left[ \frac{\rho^2}{2^{2(n-m)}} \right] \quad (\text{式 5 1})$$

以内であるとき、 $E_2^{(m, s)}(i, j)$  が 0 になることに注意すべきである。そのように定義した理由は、各  $f^{(m, s)}(i, j)$  が  $F^{(m)}(i, j)$  に十分近い限り、終点画像において適切な位置に落ち着くよう、その値を自動的に決めたいためである。この理由により、正確な対応関係を詳細に特定する必要がなく、始点画像は終点画像にマッチするように自動的にマッピングされる。

## 〔2〕具体的な処理手順

〔1〕の各要素技術による処理の流れを説明する。

図 6 は前提技術の全体手順を示すフローチャートである。同図のごとく、まず多重解像度特異点フィルタを用いた処理を行い（S 1）、つづいて始点画像と終点画像のマッチングをとる（S 2）。ただし、S 2 は必須ではなく、S 1 で得られた画像の特徴をもとに画像認識などの処理を行ってもよい。

### 【0092】

図 7 は図 6 の S 1 の詳細を示すフローチャートである。ここでは S 2 で始点画像と終点画像のマッチングをとることを前提としている。そのため、まず特異点フィルタによって始点画像の階層化を行い（S 1 0）、一連の始点階層画像を得る。つづいて同様の方法で終点画像の階層化を行い（S 1 1）、一連の終点階層画像を得る。ただし、S 1 0 と S 1 1 の順序は任意であるし、始点階層画像と終点階層画像を並行して生成していくこともできる。

### 【0093】

図 8 は図 7 の S 1 0 の詳細を示すフローチャートである。もとの始点画像のサイズは  $2^n \times 2^n$  とする。始点階層画像は解像度が細かいほうから順に作られるため、処理の対象となる解像度レベルを示すパラメータ  $m$  を  $n$  にセットする（S 1 0 0）。つづいて第  $m$  レベルの画像  $p^{(m, 0)}$ 、 $p^{(m, 1)}$ 、 $p^{(m, 2)}$ 、 $p^{(m, 3)}$  から特異点フィルタを用いて特異点を検出し（S 1 0 1）、それぞれ第  $m-1$  レベルの画像  $p^{(m-1, 0)}$ 、 $p^{(m-1, 1)}$ 、 $p^{(m-1, 2)}$ 、 $p^{(m-1, 3)}$  を生成する。

、 $p(m-1, 3)$  を生成する (S102)。ここでは  $m=n$  であるため、 $p(m, 0) = p(m, 1) = p(m, 2) = p(m, 3) = p(n)$  であり、ひとつの始点画像から4種類の副画像が生成される。

## 【0094】

図9は第 $m$ レベルの画像の一部と、第 $m-1$ レベルの画像の一部の対応関係を示している。同図の数値は各画素の輝度を示す。同図の  $p(m, s)$  は  $p(m, 0) \sim p(m, 3)$  の4つの画像を象徴するもので、 $p(m-1, 0)$  を生成する場合には、 $p(m, s)$  は  $p(m, 0)$  であると考え。[1. 2] で示した規則により、 $p(m-1, 0)$  は例えば同図で輝度を記入したブロックについて、そこに含まれる4画素のうち「3」、 $p(m-1, 1)$  は「8」、 $p(m-1, 2)$  は「6」、 $p(m-1, 3)$  を「10」をそれぞれ取得し、このブロックをそれぞれ取得したひとつの画素で置き換える。したがって、第 $m-1$ レベルの副画像のサイズは  $2^{m-1} \times 2^{m-1}$  になる。

## 【0095】

つづいて $m$ をデクリメントし (図8のS103)、 $m$ が負になっていないことを確認し (S104)、S101に戻ってつぎに解像度の粗い副画像を生成していく。この繰り返し処理の結果、 $m=0$ 、すなわち第0レベルの副画像が生成された時点でS10が終了する。第0レベルの副画像のサイズは  $1 \times 1$  である。

## 【0096】

図10はS10によって生成された始点階層画像を  $n=3$  の場合について例示している。最初の始点画像のみが4つの系列に共通であり、以降特異点の種類に応じてそれぞれ独立に副画像が生成されていく。なお、図8の処理は図7のS11にも共通であり、同様の手順を経て終点階層画像も生成される。以上で図6のS1による処理が完了する。

## 【0097】

前提技術では、図6のS2に進むためにマッチング評価の準備をする。図11はその手順を示している。同図のごとく、まず複数の評価式が設定される (S30)。[1. 3. 2. 1] で導入した画素に関するエネルギー  $C(m, s)_f$  と [1. 3. 2. 2] で導入した写像の滑らかさに関するエネルギー  $D(m, s)$

$f$  がそれである。つぎに、これらの評価式を統合して総合評価式を立てる (S 3 1)。[1. 3. 2. 3] で導入した総エネルギー  $\lambda C(m, s)_f + D(m, s)_f$  がそれであり、[1. 3. 2. 2] で導入した  $\eta$  を用いれば、

$$\sum \sum (\lambda C(m, s)_{(i, j)} + \eta E_0(m, s)_{(i, j)} + E_1(m, s)_{(i, j)}) \quad (\text{式 5 2})$$

となる。ただし、総和は  $i, j$  についてそれぞれ  $0, 1 \dots, 2^m - 1$  で計算する。以上でマッチング評価の準備が整う。

#### 【0098】

図 1 2 は図 6 の S 2 の詳細を示すフローチャートである。[1] で述べたごとく、始点階層画像と終点階層画像のマッチングは互いに同じ解像度レベルの画像どうしでとられる。画像間の大域的なマッチングを良好にとるために、解像度が粗いレベルから順にマッチングを計算する。特異点フィルタを用いて始点階層画像および終点階層画像を生成しているため、特異点の位置や輝度は解像度の粗いレベルでも明確に保存されており、大域的なマッチングの結果は従来に比べて非常に優れたものになる。

#### 【0099】

図 1 2 のごとく、まず係数パラメータ  $\eta$  を 0、レベルパラメータ  $m$  を 0 に設定する (S 2 0)。つづいて、始点階層画像中の第  $m$  レベルの 4 つの副画像と終点階層画像中の第  $m$  レベルの 4 つの副画像のそれぞれの間でマッチングを計算し、それぞれ全単射条件を満たし、かつエネルギーを最小にするような 4 種類の副写像  $f(m, s)$  ( $s = 0, 1, 2, 3$ ) を求める (S 2 1)。全単射条件は [1. 3. 3] で述べた相続四辺形を用いて検査される。この際、式 1 7、1 8 が示すように、第  $m$  レベルにおける副写像は第  $m - 1$  レベルのそれらに拘束されるため、より解像度の粗いレベルにおけるマッチングが順次利用されていく。これは異なるレベル間の垂直的参照である。なお、いま  $m = 0$  であってそれより粗いレベルはないが、この例外的な処理は図 1 3 で後述する。

#### 【0100】

一方、同一レベル内における水平的参照も行われる。[1. 3. 3] の式 2 0 のごとく、 $f(m, 3)$  は  $f(m, 2)$  に、 $f(m, 2)$  は  $f(m, 1)$  に、 $f$

$(m, 1)$  は  $f(m, 0)$  に、それぞれ類似するように決める。その理由は、特異点の種類が違って、それらがもともとと同じ始点画像と終点画像に含まれている以上、副写像がまったく異なるという状況は不自然だからである。式 20 からわかるように、副写像どうしが近いほどエネルギーは小さくなり、マッチングが良好とみなされる。

## 【0101】

なお、最初に決めるべき  $f(m, 0)$  については同一のレベルで参照できる副写像がないため、式 19 に示すごとくひとつ粗いレベルを参照する。ただし、実験では  $f(m, 3)$  まで求まった後、これを拘束条件として  $f(m, 0)$  を一回更新するという手続をとった。これは式 20 に  $s = 4$  を代入し、 $f(m, 4)$  を新たな  $f(m, 0)$  とすることに等しい。 $f(m, 0)$  と  $f(m, 3)$  の関連度が低くなり過ぎる傾向を回避するためであり、この措置によって実験結果がより良好になった。この措置に加え、実験では [1. 7. 1] に示す副写像のシャッフルも行った。これも本来特異点の種類ごとに決まる副写像どうしの関連度を密接に保つ趣旨である。また、処理の開始点に依存する偏向を回避するために、 $s$  の値にしたがって開始点の位置を変える点は [1. 7] で述べたとおりである。

## 【0102】

図 13 は第 0 レベルにおいて副写像を決定する様子を示す図である。第 0 レベルでは各副画像がただひとつの画素で構成されるため、4 つの副写像  $f(0, s)$  はすべて自動的に単位写像に決まる。図 14 は第 1 レベルにおいて副写像を決定する様子を示す図である。第 1 レベルでは副画像がそれぞれ 4 画素で構成される。同図ではこれら 4 画素が実線で示されている。いま、 $p(1, s)$  の点  $x$  の対応点を  $q(1, s)$  の中で探すとき、以下の手順を踏む。

## 【0103】

1. 第 1 レベルの解像度で点  $x$  の左上点  $a$ 、右上点  $b$ 、左下点  $c$ 、右下点  $d$  を求める。

2. 点  $a \sim d$  がひとつ粗いレベル、つまり第 0 レベルにおいて属する画素を探す。図 14 の場合、点  $a \sim d$  はそれぞれ画素  $A \sim D$  に属する。ただし、画素  $A \sim C$  は本来存在しない仮想的な画素である。



3. 第0レベルですでに求まっている画素A～Dの対応点A'～D'を $q^{(1, s)}$ の中にプロットする。画素A'～C'は仮想的な画素であり、それぞれ画素A～Cと同じ位置にあるものとする。

4. 画素Aの中の点aの対応点a'が画素A'の中にあるとみなし、点a'をプロットする。このとき、点aが画素Aの中で占める位置（この場合、右下）と、点a'が画素A'の中で占める位置が同じであると仮定する。

5. 4と同様の方法で対応点b'～d'をプロットし、点a'～d'で相続四辺形を作る。

6. 相続四辺形の中でエネルギーが最小になるよう、点xの対応点x'を探す。対応点x'の候補として、例えば画素の中心が相続四辺形に含まれるものに限定してもよい。図14の場合、4つの画素がすべて候補になる。

#### 【0104】

以上がある点xの対応点の決定手順である。同様の処理を他のすべての点について行い、副写像を決める。第2レベル以上のレベルでは、次第に相続四辺形の形が崩れていくと考えられるため、図3に示すように画素A'～D'の間隔が空いていく状況が発生する。

#### 【0105】

こうして、ある第mレベルの4つの副写像が決まれば、mをインクリメントし（図12のS22）、mがnを超えていないことを確かめて（S23）、S21に戻る。以下、S21に戻るたびに次第に細かい解像度のレベルの副写像を求め、最後にS21に戻ったときに第nレベルの写像 $f^{(n)}$ を決める。この写像は $\eta=0$ に関して定まったものであるから、 $f^{(n)} (\eta=0)$ と書く。

#### 【0106】

つぎに異なる $\eta$ に関する写像も求めるべく、 $\eta$ を $\Delta\eta$ だけシフトし、mをゼロクリアする（S24）。新たな $\eta$ が所定の探索打ち切り値 $\eta_{max}$ を超えていないことを確認し（S25）、S21に戻り、今回の $\eta$ に関して写像 $f^{(n)} (\eta=\Delta\eta)$ を求める。この処理を繰り返し、S21で $f^{(n)} (\eta=i\Delta\eta)$  ( $i=0, 1, \dots$ )を求めていく。 $\eta$ が $\eta_{max}$ を超えたときS26に進み、後述の方法で最適な $\eta=\eta_{opt}$ を決定し、 $f^{(n)} (\eta=\eta_{opt})$ を最終的に写像f

(n) とする。

【0107】

図15は図12のS21の詳細を示すフローチャートである。このフローチャートにより、ある定まった $n$ について、第 $m$ レベルにおける副写像が決まる。副写像を決める際、前提技術では副写像ごとに最適な $\lambda$ を独立して決める。

【0108】

同図のごとく、まず $s$ と $\lambda$ をゼロクリアする(S210)。つぎに、そのときの $\lambda$ について(および暗に $n$ について)エネルギーを最小にする副写像 $f^{(m, s)}$ を求め(S211)、これを $f^{(m, s)}(\lambda=0)$ と書く。異なる $\lambda$ に関する写像も求めるべく、 $\lambda$ を $\Delta\lambda$ だけシフトし、新たな $\lambda$ が所定の探索打ち切り値 $\lambda_{max}$ を超えていないことを確認し(S213)、S211に戻り、以降の繰り返し処理で $f^{(m, s)}(\lambda=i\Delta\lambda)$ ( $i=0, 1, \dots$ )を求める。 $\lambda$ が $\lambda_{max}$ を超えたときS214に進み、最適な $\lambda=\lambda_{opt}$ を決定し、 $f^{(m, s)}(\lambda=\lambda_{opt})$ を最終的に写像 $f^{(m, s)}$ とする(S214)。

【0109】

つぎに、同一レベルにおける他の副写像を求めるべく、 $\lambda$ をゼロクリアし、 $s$ をインクリメントする(S215)。 $s$ が4を超えていないことを確認し(S216)、S211に戻る。 $s=4$ になれば上述のごとく $f^{(m, 3)}$ を利用して $f^{(m, 0)}$ を更新し、そのレベルにおける副写像の決定を終了する。

【0110】

図16は、ある $m$ と $s$ について $\lambda$ を変えながら求められた $f^{(m, s)}(\lambda=i\Delta\lambda)$ ( $i=0, 1, \dots$ )に対応するエネルギー $C^{(m, s)}_f$ の挙動を示す図である。[1.4]で述べたとおり、 $\lambda$ が増加すると通常 $C^{(m, s)}_f$ は減少する。しかし、 $\lambda$ が最適値を超えると $C^{(m, s)}_f$ は増加に転じる。そこで本前提技術では $C^{(m, s)}_f$ が極小値をとるときの $\lambda$ を $\lambda_{opt}$ と決める。同図のように $\lambda>\lambda_{opt}$ の範囲で再度 $C^{(m, s)}_f$ が小さくなっていても、その時点ではすでに写像がくずれていて意味をなさないため、最初の極小点に注目すればよい。 $\lambda_{opt}$ は副写像ごとに独立して決めていき、最後に $f^{(n)}$ についてもひとつ定まる。

## 【0111】

一方、図17は、 $\eta$ を変えながら求められた  $f^{(n)}$  ( $\eta = i \Delta \eta$ ) ( $i = 0, 1, \dots$ ) に対応するエネルギー  $C^{(n)}_f$  の挙動を示す図である。ここでも  $\eta$  が増加すると通常  $C^{(n)}_f$  は減少するが、 $\eta$  が最適値を超えると  $C^{(n)}_f$  は増加に転じる。そこで  $C^{(n)}_f$  が極小値をとるときの  $\eta$  を  $\eta_{opt}$  と決める。図17は図4の横軸のゼロ付近を拡大した図と考えてよい。 $\eta_{opt}$  が決まれば  $f^{(n)}$  を最終決定することができる。

## 【0112】

以上、本前提技術によれば種々のメリットが得られる。まずエッジを検出する必要がないため、エッジ検出タイプの従来技術の課題を解消できる。また、画像に含まれるオブジェクトに対する先験的な知識も不要であり、対応点の自動検出が実現する。特異点フィルタによれば、解像度の粗いレベルでも特異点の輝度や位置を維持することができ、オブジェクト認識、特徴抽出、画像マッチングに極めて有利である。その結果、人手作業を大幅に軽減する画像処理システムの構築が可能となる。

## 【0113】

なお、本前提技術について次のような変形技術も考えられる。

(1) 前提技術では始点階層画像と終点階層画像の間でマッチングをとる際にパラメータの自動決定を行ったが、この方法は階層画像間ではなく、通常の2枚の画像間のマッチングをとる場合全般に利用できる。

## 【0114】

たとえば2枚の画像間で、画素の輝度の差に関するエネルギー  $E_0$  と画素の位置的なずれに関するエネルギー  $E_1$  のふたつを評価式とし、これらの線形和  $E_t$   $E_t = \alpha E_0 + E_1$  を総合評価式とする。この総合評価式の極値付近に注目して  $\alpha$  を自動決定する。つまり、いろいろな  $\alpha$  について  $E_t$  が最小になるような写像を求める。それらの写像のうち、 $\alpha$  に関して  $E_1$  が極小値をとるときの  $\alpha$  を最適パラメータと決める。そのパラメータに対応する写像を最終的に両画像間の最適マッチングとみなす。

## 【0115】

これ以外にも評価式の設定にはいろいろな方法があり、例えば  $1/E_1$  と  $1/E_2$  のように、評価結果が良好なほど大きな値をとるものを採用してもよい。総合評価式も必ずしも線形和である必要はなく、 $n$  乗和 ( $n=2$ 、 $1/2$ 、 $-1$ 、 $-2$  など)、多項式、任意の関数などを適宜選択すればよい。

## 【0116】

パラメータも、 $\alpha$  のみ、前提技術のごとく  $\eta$  と  $\lambda$  のふたつの場合、それ以上の場合など、いずれでもよい。パラメータが 3 以上の場合はひとつずつ変化させて決めていく。

(2) 本前提技術では、総合評価式の値が最小になるよう写像を決めた後、総合評価式を構成するひとつの評価式である  $C(m, s)_f$  が極小になる点を検出してパラメータを決定した。しかし、こうした二段回処理の代わりに、状況によっては単に総合評価式の最小値が最小になるようにパラメータを決めても効果的である。その場合、例えば  $\alpha E_0 + \beta E_1$  を総合評価式とし、 $\alpha + \beta = 1$  なる拘束条件を設けて各評価式を平等に扱うなどの措置を講じてもよい。パラメータの自動決定の本質は、エネルギーが最小になるようにパラメータを決めていく点にあるからである。

(3) 前提技術では各解像度レベルで 4 種類の特異点に関する 4 種類の副画像を生成した。しかし、当然 4 種類のうち 1、2、3 種類を選択的に用いてもよい。例えば、画像中に明るい点がひとつだけ存在する状態であれば、極大点に関する  $f(m, 3)$  だけで階層画像を生成しても相応の効果が得られるはずである。その場合、同一レベルで異なる副写像は不要になるため、 $s$  に関する計算量が減る効果がある。

(4) 本前提技術では特異点フィルタによってレベルがひとつ進むと画素が  $1/4$  になった。例えば  $3 \times 3$  で 1 ブロックとし、その中で特異点を探す構成も可能であり、その場合、レベルがひとつ進むと画素は  $1/9$  になる。

(5) 始点画像と終点画像がカラーの場合、それらをまず白黒画像に変換し、写像を計算する。その結果求められた写像を用いて始点のカラー画像を変換する。それ以外の方法として、RGB の各成分について副写像を計算してもよい。

## 【0117】

## 〔画像符号化および復号に関する実施の形態〕

前提技術ではキーフレーム間のマッチングをとって対応情報を生成し、この対応情報をもとに中間フレームを生成した。したがって、この技術は動画の圧縮に利用でき、現実の実験ではMPEGを超える画質と圧縮率の両立が確認されはじめている。以下、前提技術を利用した画像符号化技術を説明する。この符号化は伝送エラーを考慮するもので、前提技術を利用した動画の配信に重要な要素技術となる。

## 【0118】

（符号化側）

図18は実施の形態に係る画像符号化装置10の構成を示す。画像符号化装置10は、キーフレーム $KF_i$ のデータを入力する画像入力部12、キーフレームどうしの間でマッチング計算を行い、対応情報ファイル $C_{i,j}$ を生成するマッチングプロセッサ14、キーフレームのデータと対応情報ファイルを組み込んで符号化データストリームCBS（Coded Bit Stream：以下単にデータストリームという）を生成するストリーム生成部16を含む。データストリームは必要に応じて保存部18へ格納される。キーフレームは例えば動画のフレームを0.5秒おきに抽出することで定められ、キーフレーム間のフレーム、すなわち中間フレームは復号側にて対応情報ファイルをもとに補間計算で生成される。なお、画像入力部12はすでに存在するキーフレームを入力してもよいし、それ自体がデジタルカメラ等の画像撮影装置であってもよい。

## 【0119】

マッチングプロセッサ14は前提技術に基づき、または別の任意の技術に基づき、特異点をもとに画素単位でふたつのキーフレーム間のマッチングをとる。前提技術と異なり、マッチングプロセッサ14は隣接キーフレーム間でマッチングを計算するだけでなく、あるタイミングである程度距離のあるキーフレーム間でマッチングを計算する。このマッチングを以降「予備マッチング」とよぶ。予備マッチングは、伝送エラー等に対処するための対応情報を生成する。すなわち、伝送中などにキーフレームのデータまたは対応情報ファイルにデータエラーが生じたとき、これを予備マッチングによって得られた対応情報ファイル（以下「予

備ファイル」ともいう) によって救済する趣旨である。

#### 【0 1 2 0】

いま、非負整数  $i, j$  について、第  $i$  キーフレームと第  $j$  キーフレームのデータをそれぞれ  $KF_i, KF_j$ 、第  $i$  キーフレームと第  $j$  キーフレームの間の対応情報ファイルを  $C_{i, j}$  と定義したとき、マッチングプロセッサ 1 4 は、入力されたキーフレームのデータのうち  $KF_i$  および  $KF_{i+1}$  を利用して  $C_{i, i+1}$  を生成し、かつ  $KF_i$  および  $KF_j$  ( $j > i+1$ ) を利用して予備の  $C_{i, j}$  を生成すると定義できる。ただし、 $C_{i, i+1}$  に比べて低い頻度で  $C_{i, j}$  が生成される。マッチングプロセッサ 1 4 は、 $C_{i, i+1}$  および  $C_{i, j}$  にエラーチェックのためのパリティビットを付加しておく。一方、ストリーム生成部 1 6 はキーフレームにパリティビットを付加してストリームを形成する。

#### 【0 1 2 1】

図 1 9 は、通常に対応情報ファイル (以下「主ファイル」ともいう) と予備ファイルの関係を示す。同図のごとく、主ファイルは隣接するキーフレーム間にひとつずつ生成される。一方、予備ファイルは  $C_{0, 6}, C_{6, 12}, \dots$  など、ある程度間隔をおいて生成される。

#### 【0 1 2 2】

図 2 0 は、ストリーム生成部 1 6 によって図 1 9 の主ファイルと予備ファイルが組み込まれて生成されたデータストリーム CBS の構成を示す。エラー対策を考えなければ、このストリームはキーフレームと主ファイルの繰り返しとなり、具体的には、

$KF_0, KF_1, C_{0, 1}, KF_2, C_{1, 2}, KF_3, C_{2, 3}, \dots$  となる。予備ファイル  $C_{0, 6}, C_{6, 12}, \dots$  はそれぞれ  $KF_0, KF_7, \dots$  の前に挿入される。伝送エラーに予備ファイルで対応する方法は復号の場面で後述する。

#### 【0 1 2 3】

予備ファイルの挿入位置は任意ではあるが、一般論として以下の 2 点の考慮が必要である。第一は、予備ファイルがカバーするキーフレームおよび主ファイル (以下これを単に「カバー領域」ともいう) と予備ファイルの位置はある程度離

れているほうがよい。なぜなら、伝送エラーが予備ファイルとカバー領域に同時に及ぶことを回避すべきだからである。第二は、第一と逆に、両者はある程度近い位置に存在すべきである。なぜなら、予備ファイルはカバー領域の再生時に存在していなければならず、カバー領域をバッファに待機させないかぎり、予備ファイルを後から送ることはできない。一方、予備ファイルを先に送ると、これをバッファに長時間保持する必要があるが生じる。そのため、装置のバッファの容量などを考慮し、また実験等で予備ファイルの位置を確定することが望ましい。なお、同一の予備ファイルを異なる場所に複数回埋め込んでもよい。

## 【0124】

図21は主ファイルと予備ファイルの別の関係を示す。ここでは予備ファイルのカバー領域をオーバーラップさせるよう $C_{0,6}$ 、 $C_{4,10}$ 、・・・などを生成している。図22は図21に対応するデータストリームCBSを示す。ここでは予備ファイル $C_{4,10}$ 、 $C_{8,14}$ 、・・・はそれぞれ $KF_5$ 、 $KF_9$ 、・・・の前に挿入される。オーバーラップの効果により、エラー耐性がより高まる。

## 【0125】

図23は主ファイルと予備ファイルのさらに別の関係を示す。ここでは図19の予備ファイル $C_{0,6}$ 、 $C_{6,12}$ 、・・・に加え、より長い間隔の予備ファイル $C_{0,12}$ 、 $C_{12,24}$ 、・・・が追加されている。図24は図23に対応するデータストリームCBSを示す。ここでは予備ファイル $C_{0,12}$ 、 $C_{0,6}$ 、 $C_{6,12}$ 、・・・はそれぞれストリームの先頭、 $KF_3$ および $KF_7$ の前に挿入される。この構成の場合、例えば $C_{0,6}$ のカバー領域にエラーがある場合、一次的には $C_{0,6}$ を利用し、仮に $C_{0,6}$ にもエラーがあれば二次的に $C_{0,12}$ を利用することができ、エラー耐性がより高まる。

## 【0126】

図25は、キーフレーム $KF_i$ においてデータエラーを検出すべき領域を示す。ここでは画像の中央付近に16個のブロック領域 $R_0 \sim R_{15}$ を設け、それぞれのブロックについて一次元や二次元のパリティビットを付加する。ここでは画像において中央寄りの領域の重要性が高いという知見のもと、その領域のエラー

のみに対応するものである。ただし、当然ながら画像全体のエラーを考慮してもよいし、画像の輝度の高い領域など一般に重要性が高いと考えられる領域を動的に確定してその領域のエラーを考えてもよい。

## 【 0 1 2 7 】

図 2 6 は、対応情報ファイル  $C_{i,j}$  においてデータエラーを検出すべき領域を概念的に示す。このファイルは一般にはテキストデータを格納しており、ここでは単純に複数のデータブロック  $T_0 \sim T_4$  に分割してそれぞれのブロックにパリティビットを与えている。

## 【 0 1 2 8 】

(復号側)

図 2 7 は実施の形態に係る画像復号装置 4 0 の構成図である。画像復号装置 4 0 は、符号化されたデータストリーム  $CBS$  を入力するストリーム入力部 4 2 と、そのストリームから前提技術に基づく補間によって中間フレームを生成する中間画像生成部 4 4 と、キーフレームおよび中間フレームを動画として表示するための処理を行う表示制御部 5 0 を含む。表示制御部 5 0 で生成された表示データは表示装置へ出力され、画像が再生される。エラー検出部 4 6 はデータストリーム中のエラーを検出し、エラーがあればその旨をエラー制御部 4 8 へ通知する。エラー制御部 4 8 は中間画像生成部 4 4 における中間フレームの生成に所定のエラー回避措置を組み込む。ストリーム入力部 4 2 および中間画像生成部 4 4 は、それぞれ、または共用化されたバッファメモリを有し、これを復号またはエラー回避措置のために必要なデータのワークエリアとして利用する。以降、 $KF_i$ 、 $KF_j$  の中間フレームのデータを  $IF_{i,j}$  と表記する。

## 【 0 1 2 9 】

図 2 8 は、中間画像生成部 4 4 による中間フレームの生成の原理を示す。この処理自体は前提技術でも示されている。すなわち、ふたつのキーフレーム  $KF_5$ 、 $KF_6$  とその主ファイル  $C_{5,6}$  があるとき、まずこのファイルにより、キーフレーム  $KF_5$  上の点  $p_0(x_0, y_0)$  が他方のキーフレーム  $KF_6$  上の点  $p_1(x_1, y_1)$  に対応することが判明する。点は座標  $(x_i, y_i)$  と画素値  $p_i$  で特定される。したがって、これらのキーフレームの中間フレーム  $IF_5$ ,



$6(t)$  の点  $p_t(x_t, y_t)$  は座標および画素値を時間軸上で補間することで得られる。

【0130】

図29は、画像復号装置40で処理中のデータストリームCBSのKF<sub>6</sub>にエラーが検出されたとき、エラー制御部48が指示するひとつのエラー回避措置を示す。ここでは、ひとつ前のKF<sub>5</sub>をKF<sub>6</sub>にコピーし、これをKF<sub>6</sub>として利用している。もちろん、後のキーフレームを利用してよいし、前後のキーフレームの加重平均などを利用してよい。

【0131】

図30は、同様にKF<sub>6</sub>にエラーが検出されたとき、別のエラー回避措置を示す。ここではKF<sub>6</sub>はいっさい利用せず、KF<sub>5</sub>の各点をC<sub>5,6</sub>によって移動し、IF<sub>5,6</sub>を生成する。すなわち、C<sub>5,6</sub>によって画素の移動のみを追跡し、本来追跡すべき画素値の変化は、KF<sub>6</sub>がないため省略する。KF<sub>5</sub>の変形によってKF<sub>6</sub>に至るIF<sub>5,6</sub>を生成するものである。

【0132】

図31は、KF<sub>6</sub>とKF<sub>7</sub>に連続してエラーが検出されたときのひとつのエラー回避措置を示す。ここではKF<sub>6</sub>とKF<sub>7</sub>は利用せず、まずKF<sub>5</sub>の各点をC<sub>5,6</sub>によって移動しIF<sub>5,6</sub>を生成する。このとき、その終点にKF<sub>6</sub>が仮想的に生成されている。つづいて、この仮想的なKF<sub>6</sub>の各点をC<sub>6,7</sub>によって移動しIF<sub>6,7</sub>を生成する。このとき、その終点にKF<sub>7</sub>が仮想的に生成され、これが後続の処理に利用される。

【0133】

図32は、さらに別のエラー回避措置を示す。ここではKF<sub>1</sub>～KF<sub>5</sub>のいずれかひとつ以上のキーフレームと、場合によりそれらに関連する主ファイル、たとえばC<sub>2,3</sub>にエラーが検出された状況が想定される。中間画像生成部44はエラー制御部48の指示に基づき、まずデータストリームCBSに含まれる予備ファイルのうち、エラー個所を挟むキーフレームについて生成されたものを選択する。同図では、C<sub>0,6</sub>が検出され、したがってこれとKF<sub>0</sub>とKF<sub>6</sub>が利用され、この長い区間について中間フレームIF<sub>0,6</sub>が生成される。エラーが比

較的長くつづくときでも、ある程度の画質で画像を再生するときこの方法は非常に有用である。

#### 【0134】

なお、この方法を一般化すると以下のとおりである。すなわち、 $KF_{i+1}$  にエラーがあったとき、回避措置として、予備ファイルのうち  $a \leq i+1$ ,  $i+2 < b$ 、または  $a < i+1$ ,  $i+2 \leq b$  なる  $C_{a,b}$  を検出し、 $C_{a,b}$  と  $KF_a$  および  $KF_b$  を用いて  $IF_{a,b}$  を生成し、これによって  $IF_{i+1, i+2}$  を代用する。

#### 【0135】

場合により、 $a \ll i+1$ ,  $i+2 \ll b$  なる  $C_{a,b}$  を用いてもよい。そのような予備ファイルしか見つからない場合もあるが、意識的に予備ファイルを減らす場合、この方法が採られる。

#### 【0136】

図33はさらに別のエラー回避措置を示す。ここでは主ファイル  $C_{5,6}$  にエラーがあったとする。この場合、ひとつ前の  $C_{4,5}$  をコピーし、これによって  $C_{5,6}$  を代用する。もちろん、後ろの主ファイルをコピーしてもよいし、前後の主ファイルの加重平均などを利用してよい。

#### 【0137】

図34はさらに別のエラー回避措置を示す。ここでも主ファイル  $C_{5,6}$  にエラーがあり、ここではそのファイルの内容を、恒等写像を示す対応情報に置き換える。「恒等写像」とは  $f(x) \equiv x$  が成立する写像であり、ここでは  $KF_5$  の画素がすべて  $KF_6$  の同じ座標へ対応すると考える。ふたつの隣接キーフレーム間の差が一般に大きくない点に着目している。この方法は、比較的連続して主ファイルが失われた場合にも有効である。

#### 【0138】

エラー回避措置は、データストリーム  $CBS$  にエラーがあった場合でも、そのエラーの重要性が低いと判定されたとき、実行が見合わされてもよい。例えば、図25ではもともと重要な領域のみについてエラーチェックが可能な構成としたが、仮に全領域にエラーチェックを可能としても、例えばエラーが画像の端部で

生じたときなど、復号側でエラーを無視してもよい。エラーの無視に関し、符号化側と復号側には協働の余地がある。

【 0 1 3 9 】

以上、実施の形態をもとに本発明を説明した。なお本発明はこの実施の形態に限定されることなく、そのさまざまな変形例もまた、本発明の態様として有効である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 図 1 (a) とは図 1 (b) は、ふたりの人物の顔に平均化フィルタを施して得られる画像、図 1 (c) と図 1 (d) は、ふたりの人物の顔に関して前提技術で求められる  $p(5, 0)$  の画像、図 1 (e) と図 1 (f) は、ふたりの人物の顔に関して前提技術で求められる  $p(5, 1)$  の画像、図 1 (g) と図 1 (h) は、ふたりの人物の顔に関して前提技術で求められる  $p(5, 2)$  の画像、図 1 (i) と図 1 (j) は、ふたりの人物の顔に関して前提技術で求められる  $p(5, 3)$  の画像をそれぞれディスプレイ上に表示した中間調画像の写真である。

【図 2】 図 2 (R) はもとの四辺形を示す図、図 2 (A)、図 2 (B)、図 2 (C)、図 2 (D)、図 2 (E) はそれぞれ相続四辺形を示す図である。

【図 3】 始点画像と終点画像の関係、および第  $m$  レベルと第  $m - 1$  レベルの関係を相続四辺形を用いて示す図である。

【図 4】 パラメータ  $\eta$  とエネルギー  $C_f$  の関係を示す図である。

【図 5】 図 5 (a)、図 5 (b) は、ある点に関する写像が全単射条件を満たすか否かを外積計算から求める様子を示す図である。

【図 6】 前提技術の全体手順を示すフローチャートである。

【図 7】 図 6 の S 1 の詳細を示すフローチャートである。

【図 8】 図 7 の S 1 0 の詳細を示すフローチャートである。

【図 9】 第  $m$  レベルの画像の一部と、第  $m - 1$  レベルの画像の一部の対応関係を示す図である。

【図 1 0】 前提技術で生成された始点階層画像を示す図である。

【図 1 1】 図 6 の S 2 に進む前に、マッチング評価の準備の手順を示す図

である。

【図 1 2】 図 6 の S 2 の詳細を示すフローチャートである。

【図 1 3】 第 0 レベルにおいて副写像を決定する様子を示す図である。

【図 1 4】 第 1 レベルにおいて副写像を決定する様子を示す図である。

【図 1 5】 図 1 2 の S 2 1 の詳細を示すフローチャートである。

【図 1 6】 ある  $f(m, s)$  について  $\lambda$  を変えながら求められた  $f(m, s)$  ( $\lambda = i \Delta \lambda$ ) に対応するエネルギー  $C(m, s)_f$  の挙動を示す図である。

【図 1 7】  $\eta$  を変えながら求められた  $f(n)$  ( $\eta = i \Delta \eta$ ) ( $i = 0, 1, \dots$ ) に対応するエネルギー  $C(n)_f$  の挙動を示す図である。

【図 1 8】 実施の形態に係る画像符号化装置の構成図である。

【図 1 9】 マッチングプロセッサによって生成される主ファイルと予備ファイルの関係を示す図である。

【図 2 0】 ストリーム生成部によって生成されるデータストリームの構成を示す図である。

【図 2 1】 マッチングプロセッサによって生成される主ファイルと予備ファイルの別の関係を示す図である。

【図 2 2】 ストリーム生成部によって生成されるデータストリームの別の構成を示す図である。

【図 2 3】 マッチングプロセッサによって生成される主ファイルと予備ファイルのさらに別の関係を示す図である。

【図 2 4】 ストリーム生成部によって生成されるデータストリームのさらに別の構成を示す図である。

【図 2 5】 キーフレームについて、符号化側にてエラーチェックのために設定する領域を示す図である。

【図 2 6】 対応情報ファイルについて、符号化側にてエラーチェックのために設定する領域を示す図である。

【図 2 7】 実施の形態に係る画像復号装置の構成図である。

【図 2 8】 中間画像生成部による中間フレームの生成原理を示す図である

【図 2 9】 キーフレームにエラーが検出されたときのエラー回避措置を示す図である。

【図 3 0】 キーフレームにエラーが検出されたときの別のエラー回避措置を示す図である。

【図 3 1】 キーフレームにエラーが検出されたときのさらに別のエラー回避措置を示す図である。

【図 3 2】 キーフレームにエラーが検出されたときのさらに別のエラー回避措置を示す図である。

【図 3 3】 対応情報ファイルにエラーが検出されたときのエラー回避措置を示す図である。

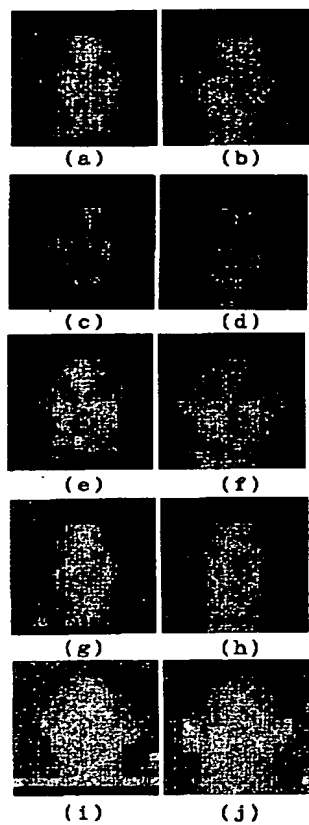
【図 3 4】 対応情報ファイルにエラーが検出されたときの別のエラー回避措置を示す図である。

【符号の説明】

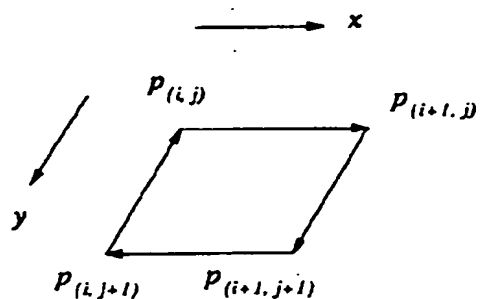
1 0 画像符号化装置、 1 2 画像入力部、 1 4 マッチングプロセッサ、 1 6 ストリーム生成部、 4 0 画像復号装置、 4 2 ストリーム入力部、 4 4 中間画像生成部、 4 6 エラー検出部、 4 8 エラー制御部。

【書類名】 図面

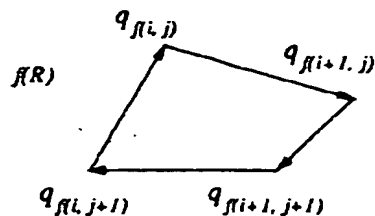
【図 1】



【図 2】



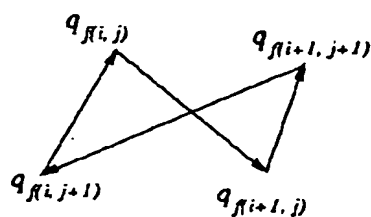
( R )



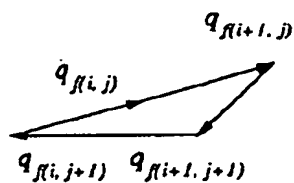
( A )



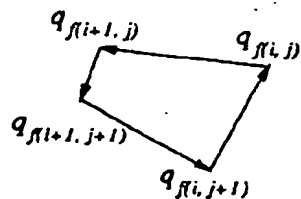
( E )



( B )

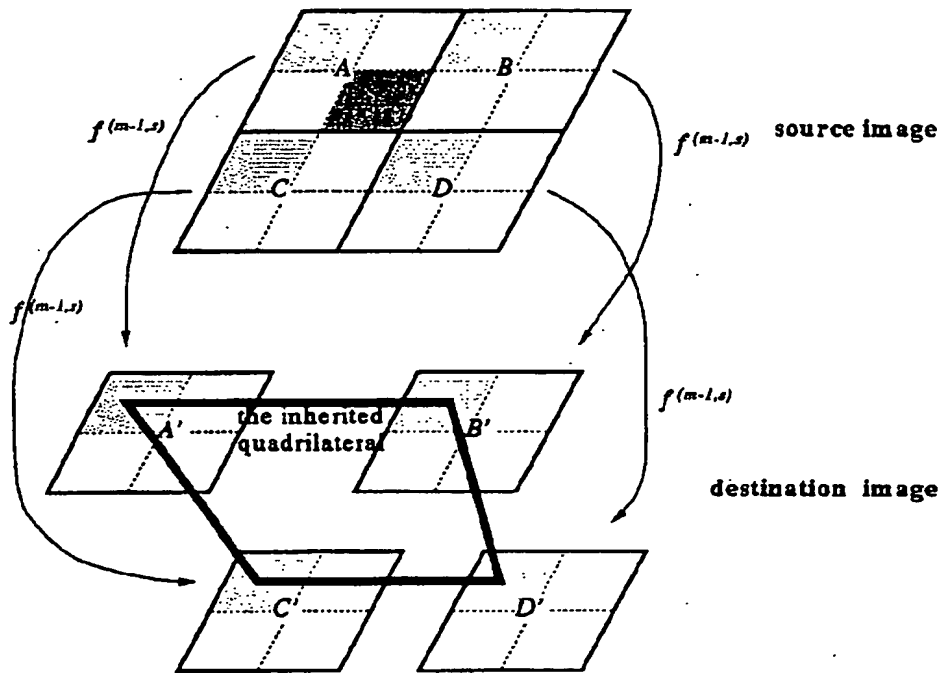


( D )

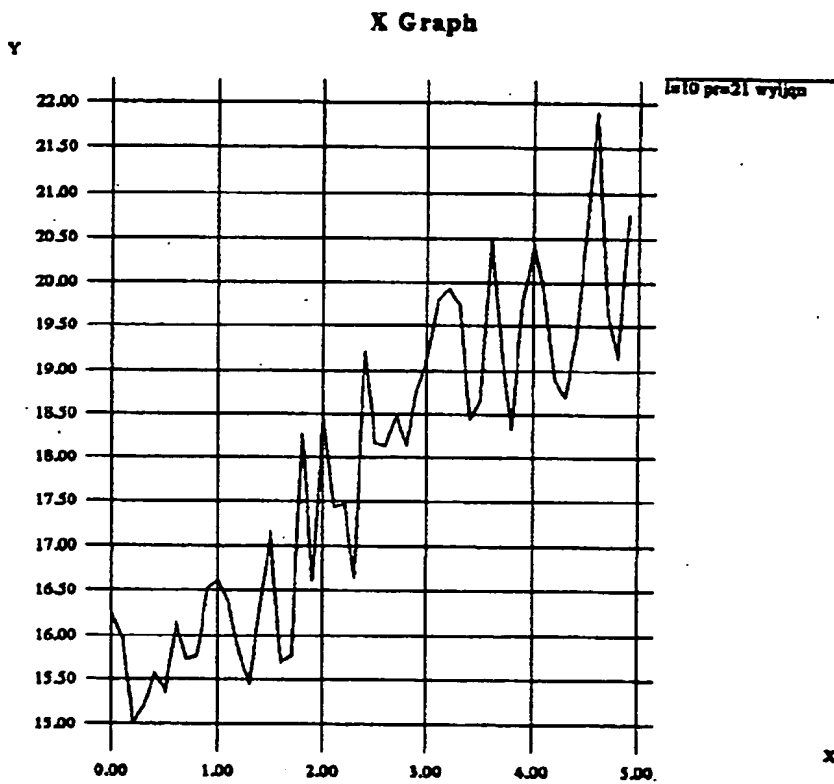


( C )

【図 3】

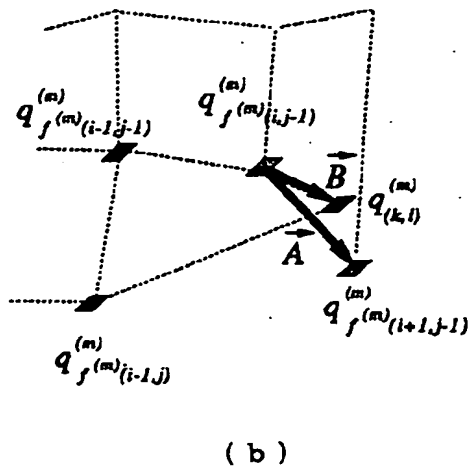
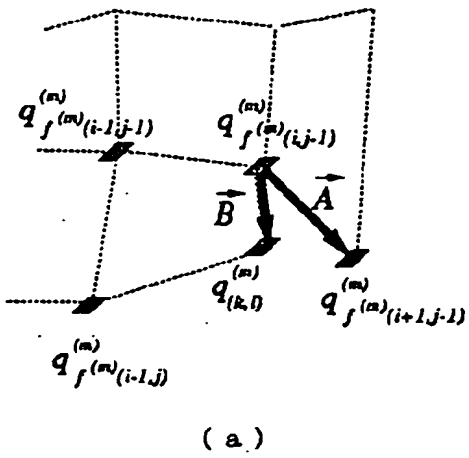


【図 4】

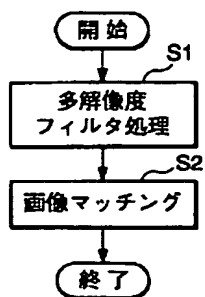




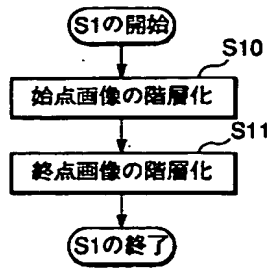
【図 5】



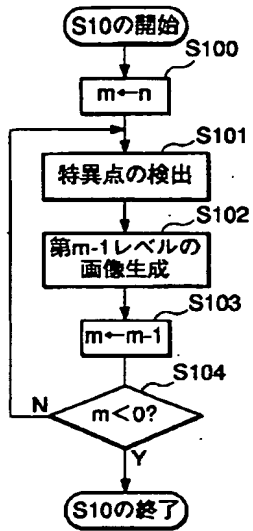
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【図 9】

|    |   |  |  |
|----|---|--|--|
|    |   |  |  |
|    |   |  |  |
| 10 | 8 |  |  |
| 6  | 3 |  |  |

$p(m, s)$

|   |  |  |
|---|--|--|
|   |  |  |
| 3 |  |  |
|   |  |  |

$p(m-1, 0)$

|   |  |  |
|---|--|--|
|   |  |  |
| 8 |  |  |
|   |  |  |

$p(m-1, 1)$

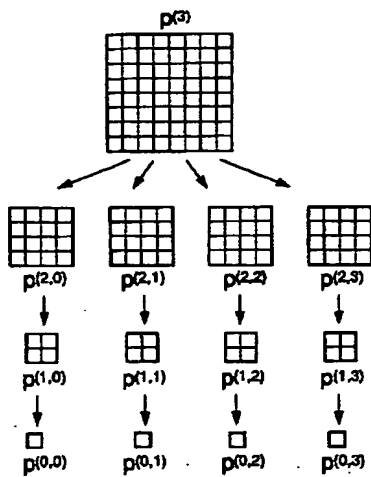
|   |  |  |
|---|--|--|
|   |  |  |
| 8 |  |  |
|   |  |  |

$p(m-1, 2)$

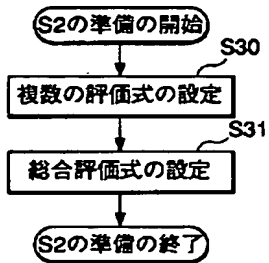
|    |  |  |
|----|--|--|
|    |  |  |
| 10 |  |  |
|    |  |  |

$p(m-1, 3)$

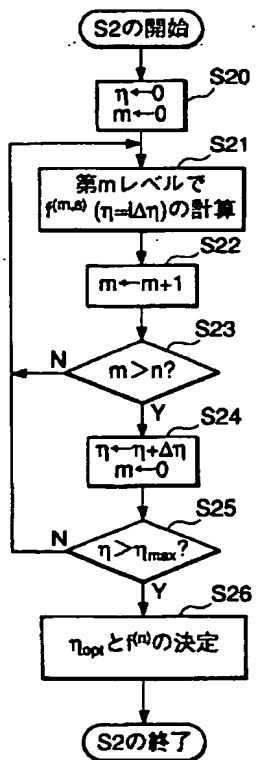
【図 10】



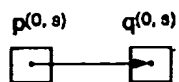
【図 11】



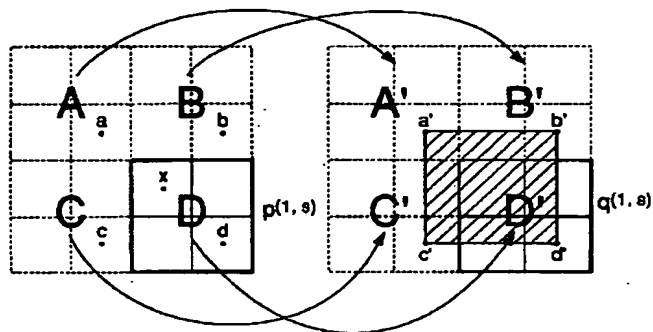
【図 12】



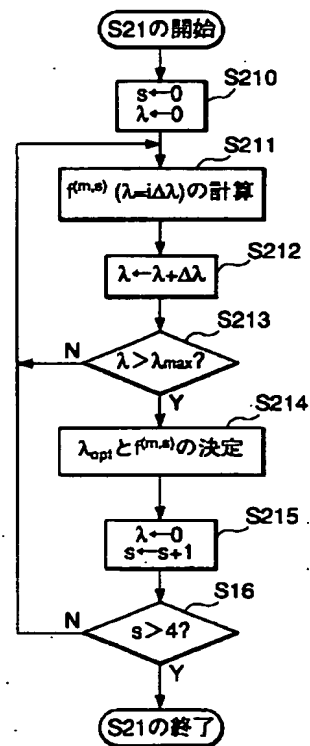
【図 13】



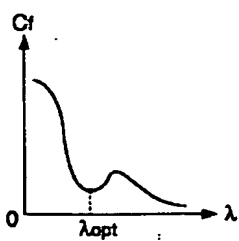
【図 14】



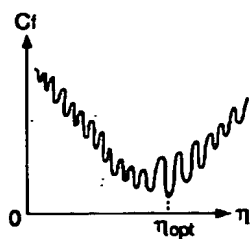
【図 15】



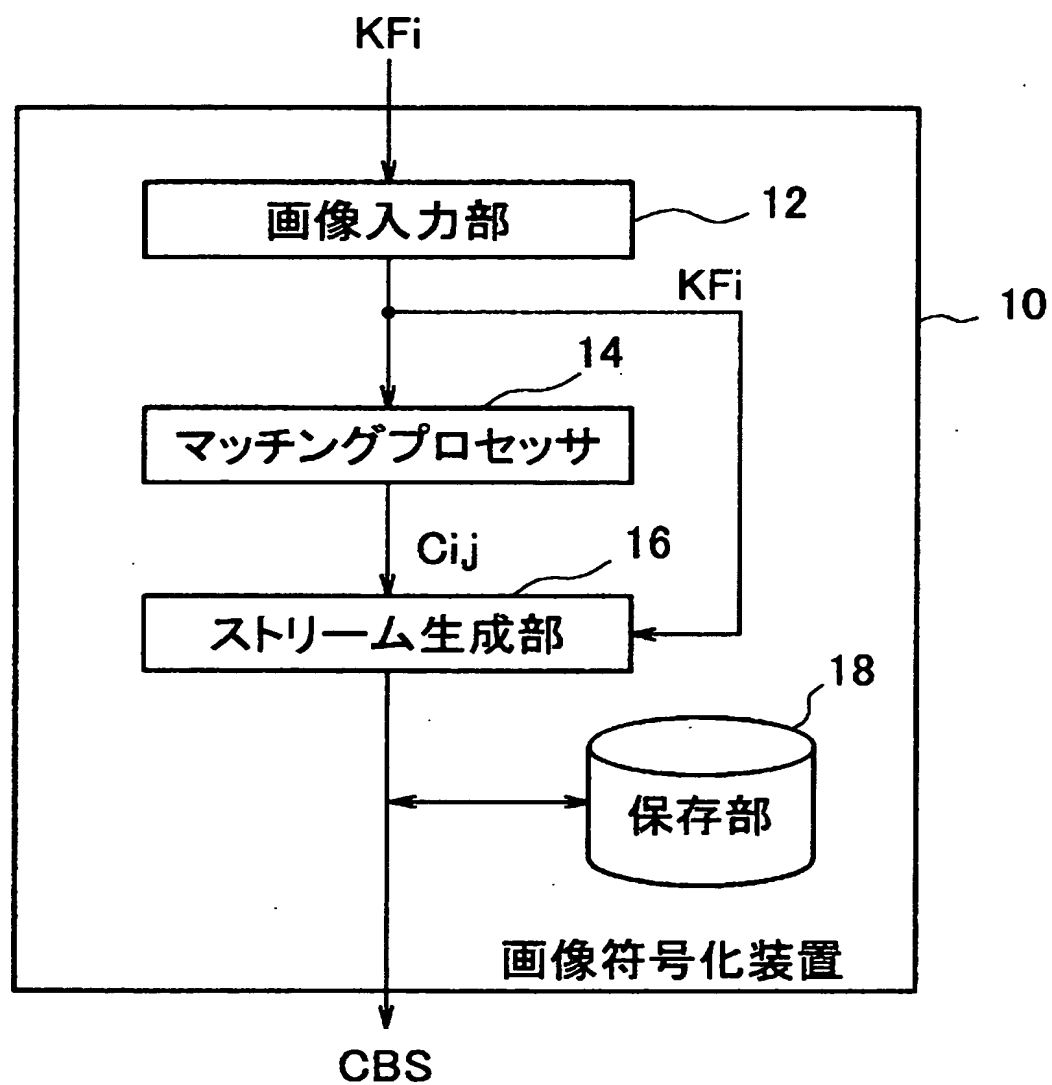
【図 16】



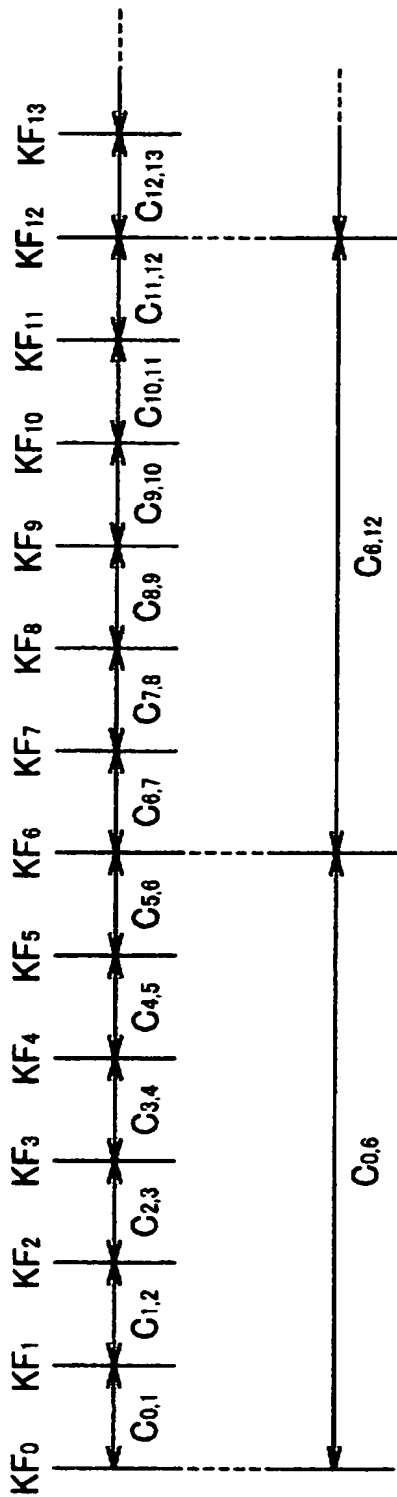
【図 17】



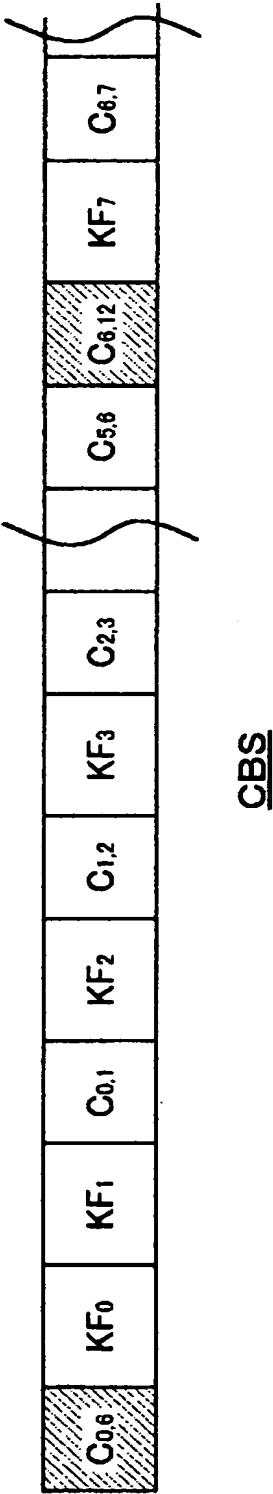
【図 18】



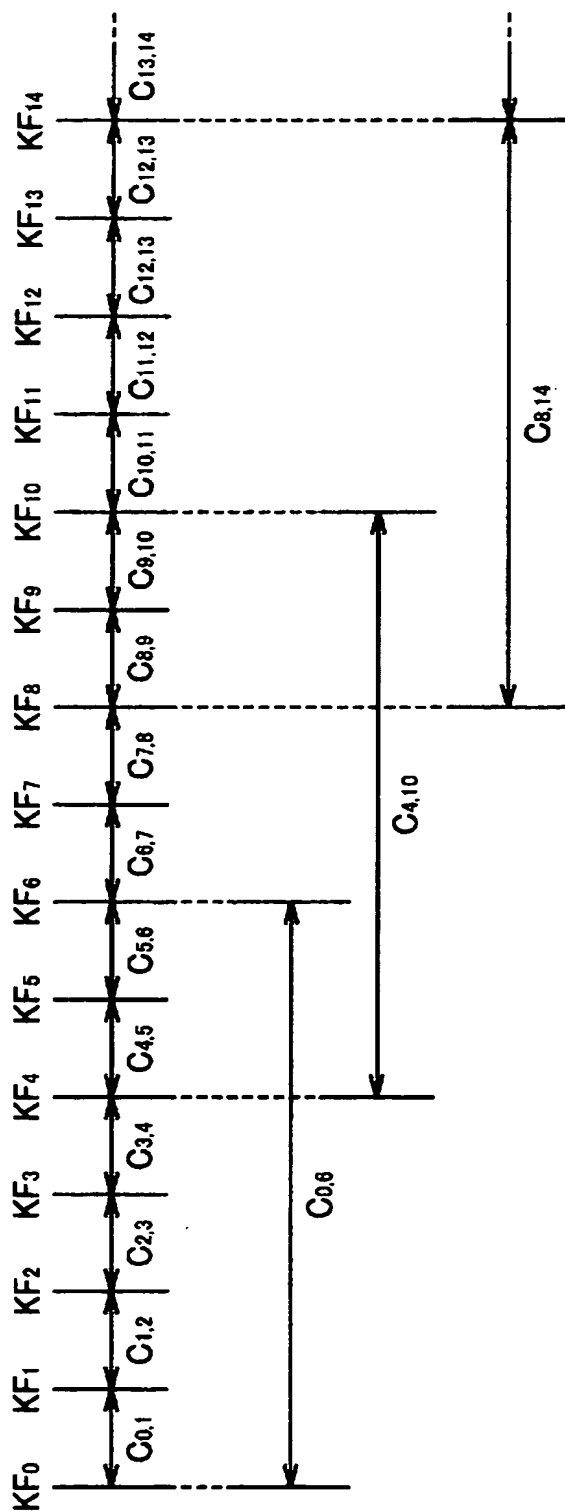
【図 19】



【図 2 0】

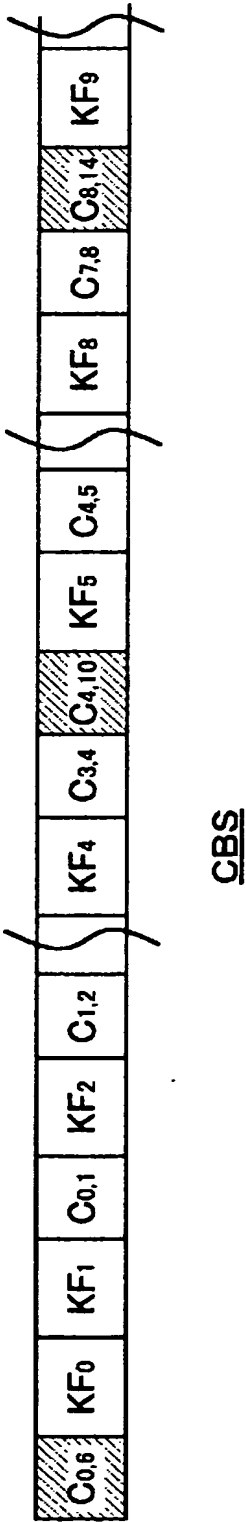


【図 2 1】

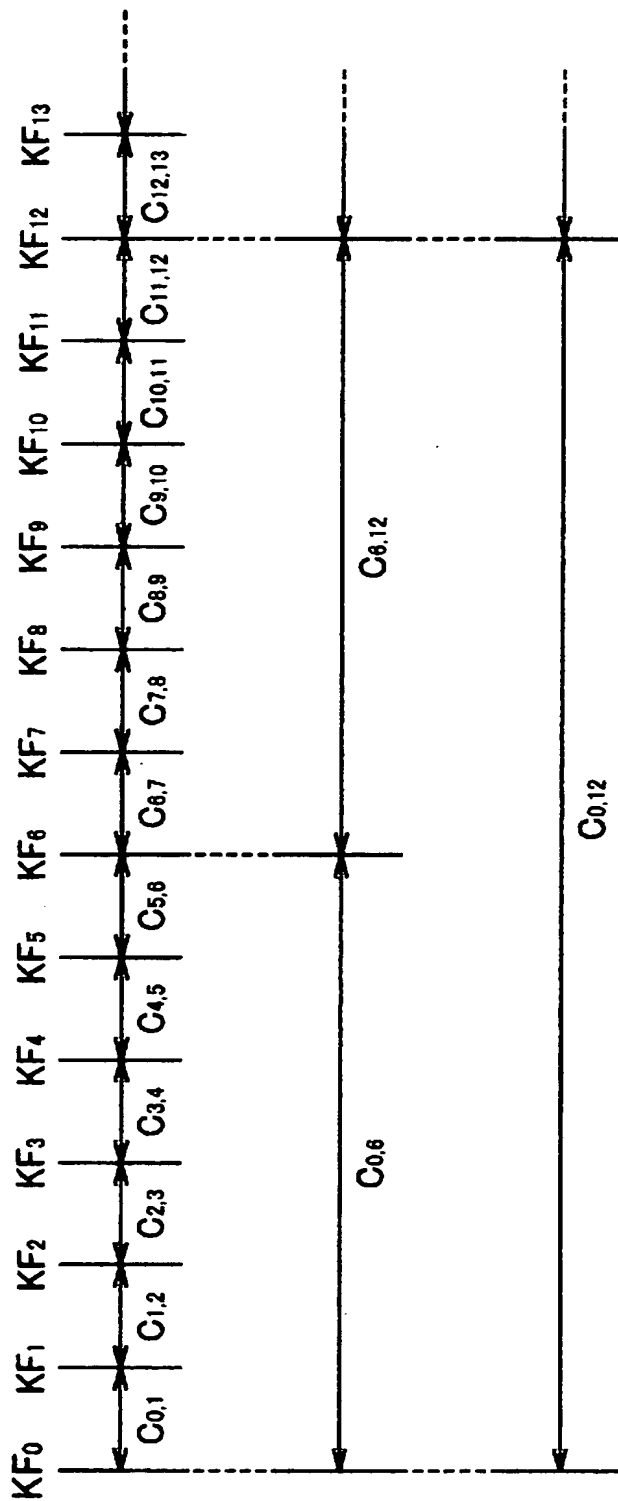




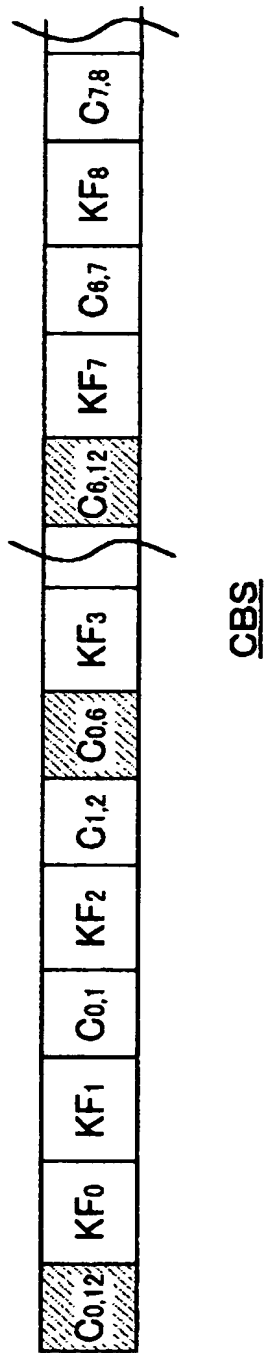
【図 2 2】



【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】

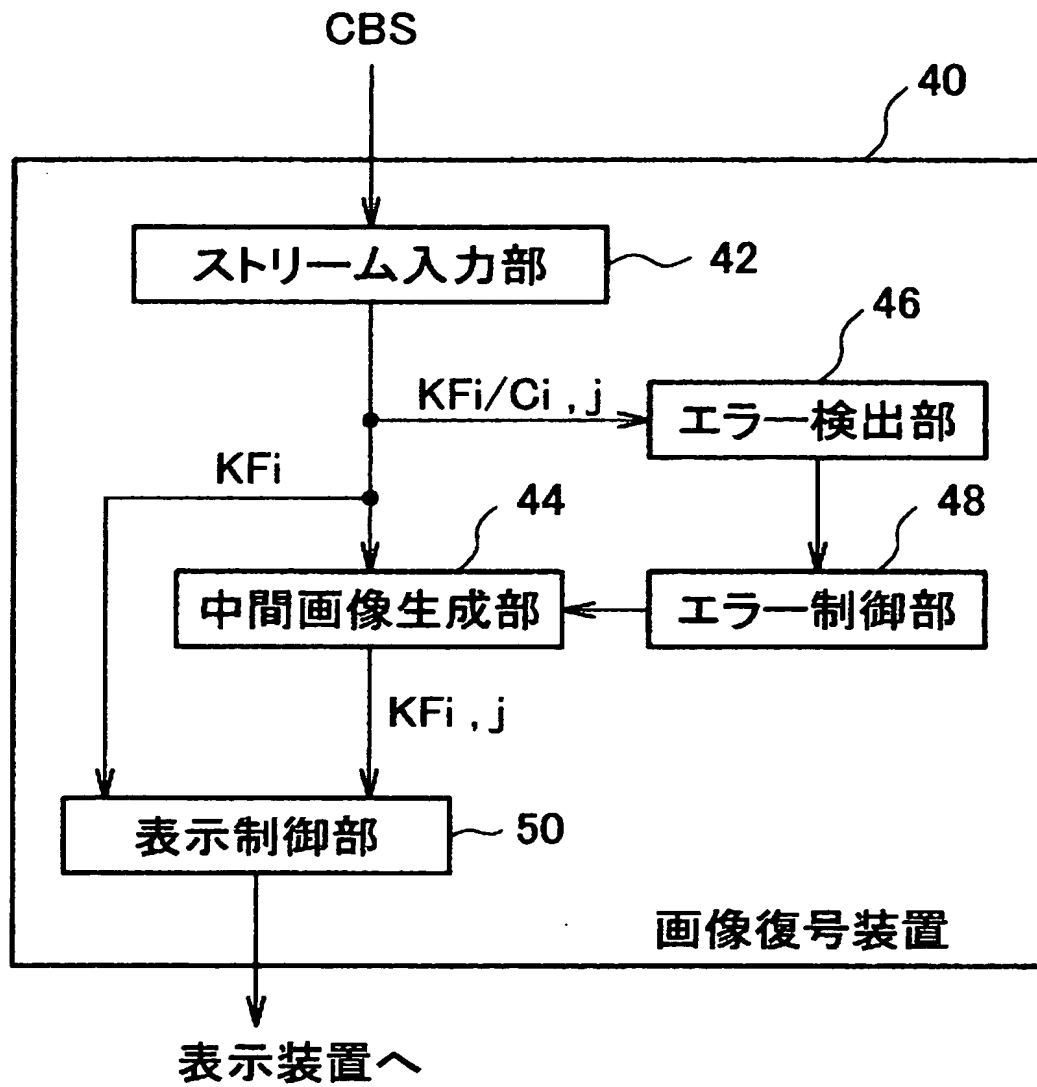
|                 |                 |                 |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| KFi             |                 |                 |                 |
| R <sub>0</sub>  | R <sub>1</sub>  | R <sub>2</sub>  | R <sub>3</sub>  |
| R <sub>4</sub>  | R <sub>5</sub>  | R <sub>6</sub>  | R <sub>7</sub>  |
| R <sub>8</sub>  | R <sub>9</sub>  | R <sub>10</sub> | R <sub>11</sub> |
| R <sub>12</sub> | R <sub>13</sub> | R <sub>14</sub> | R <sub>15</sub> |

【図 2 6】

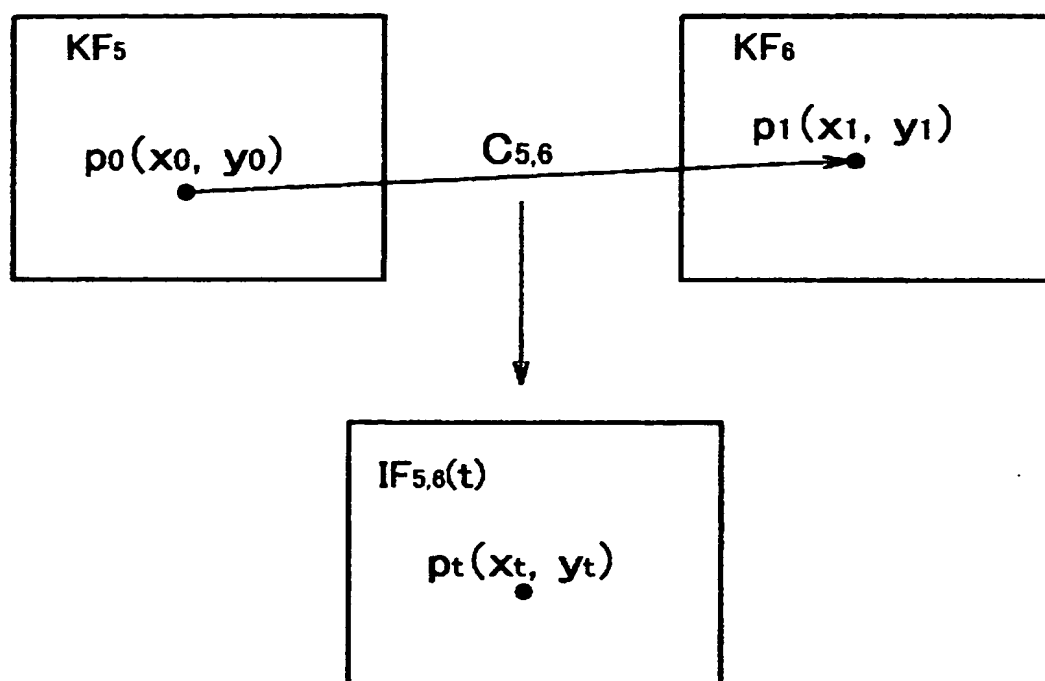
|                |
|----------------|
| T <sub>0</sub> |
| T <sub>1</sub> |
| T <sub>2</sub> |
| T <sub>3</sub> |
| T <sub>4</sub> |

C<sub>i, j</sub>

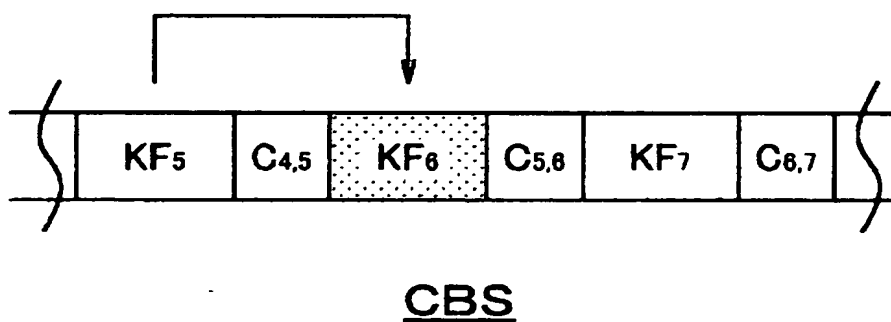
【図 27】



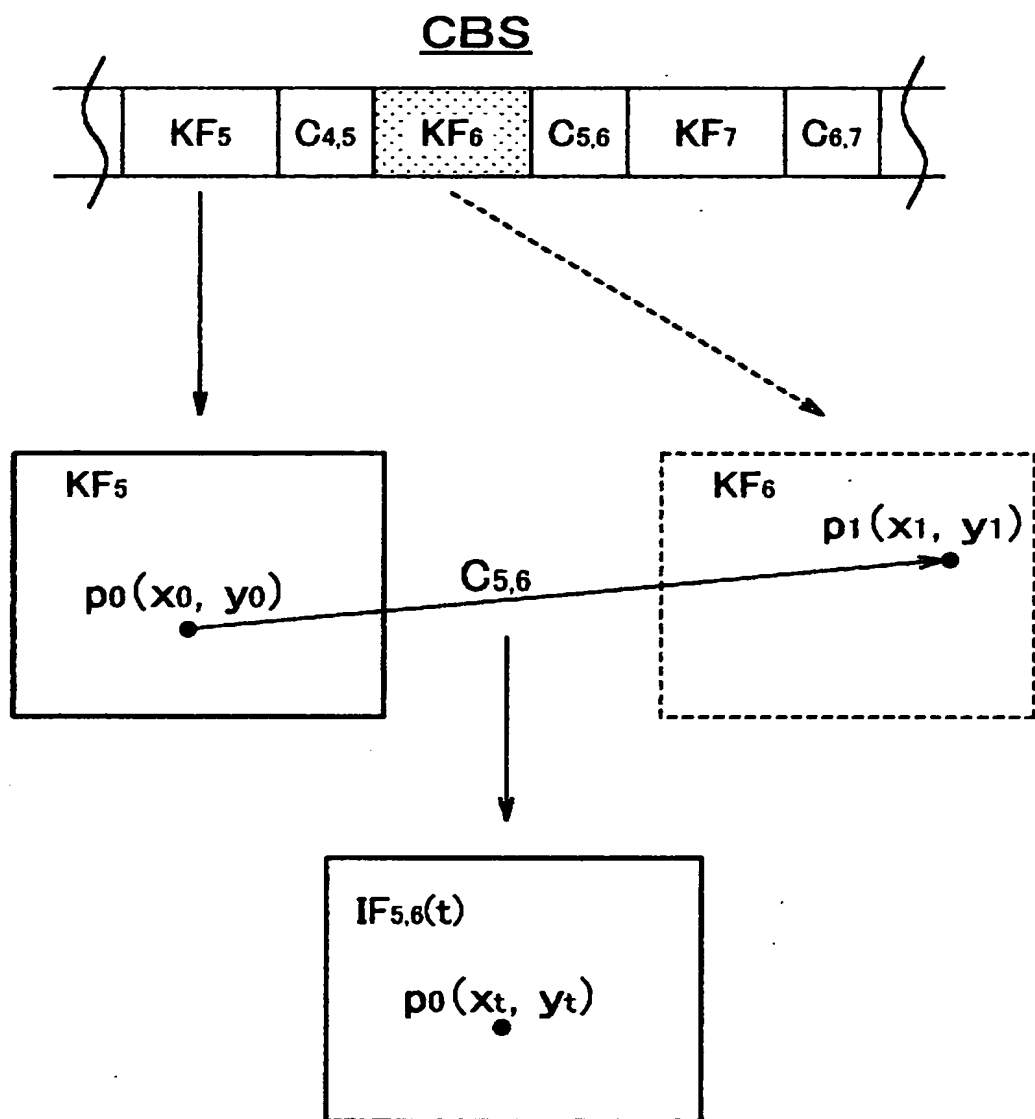
【図 2 8】



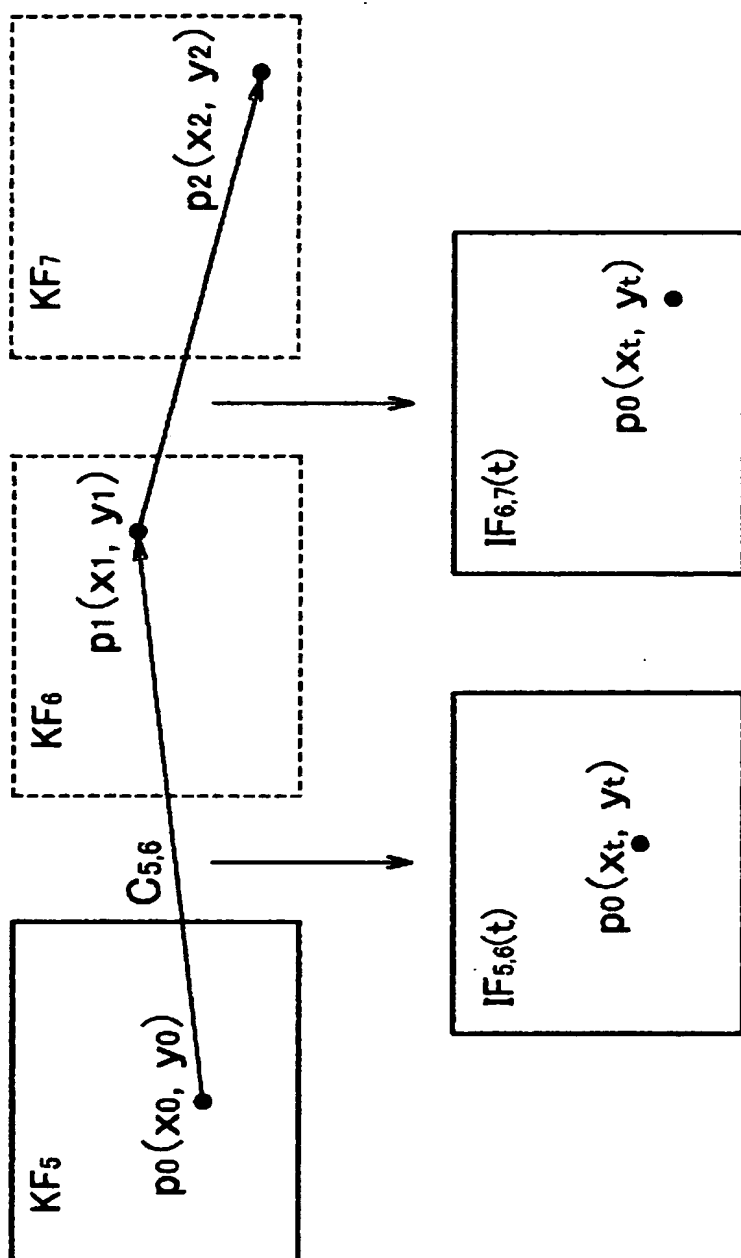
【図 2 9】



【図 30】

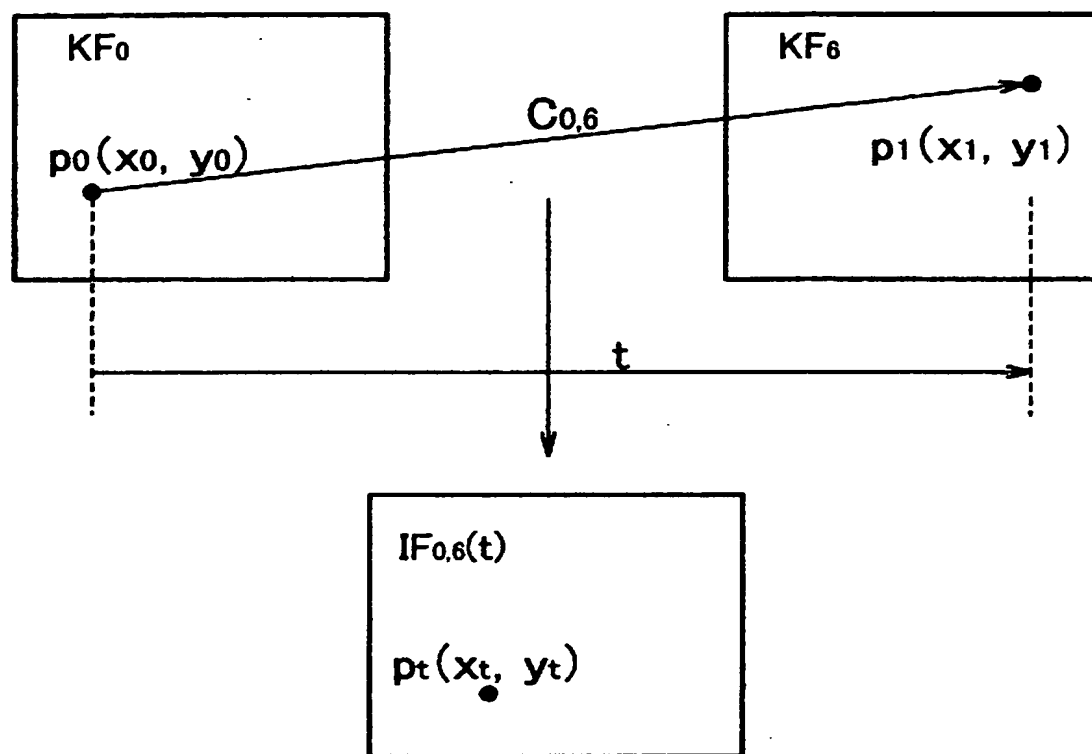


【図 3 1】

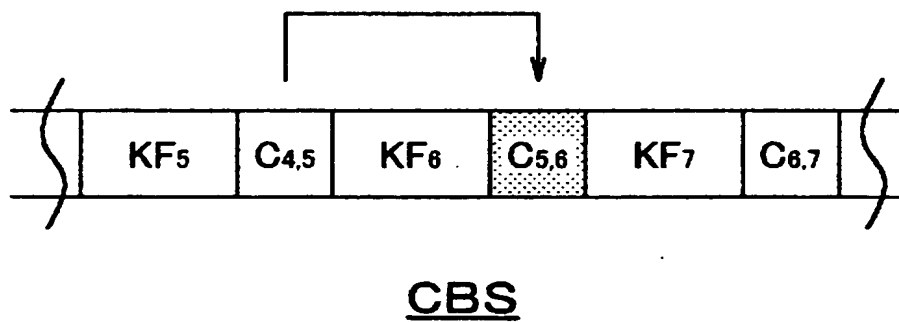




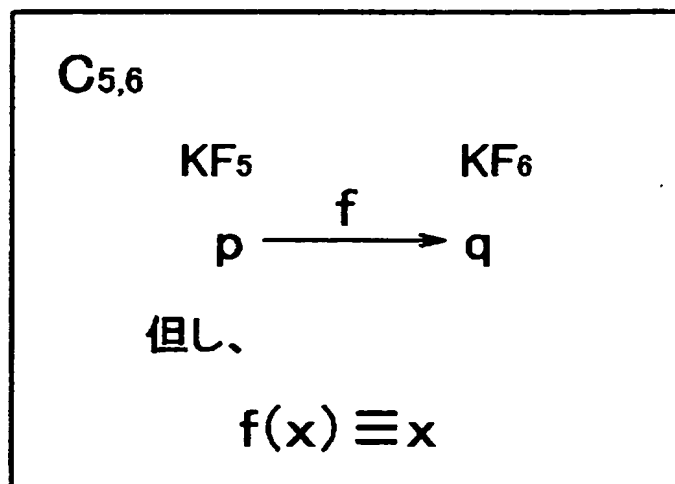
【図 3 2】



【図 3 3】



【図 3 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ネットワークを利用した画像の伝送に有効なエラー対策は画像圧縮手法に依存し、圧縮率と高エラー耐性の両立は課題である。

【解決手段】 エラー検出部 4 6 は入力された符号化データストリーム C B S のエラーを検出する。中間画像生成部 4 4 はキーフレームのデータ  $K F_i$  とキーフレーム間の対応情報ファイル  $C_{i,j}$  をもとに補間により中間フレームを生成する。エラーがあったとき、エラー制御部 4 8 は中間画像生成部 4 4 にエラー回避措置を指示する。措置として、他のキーフレームによるエラー個所の代用等を行う。

【選択図】 図 2 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 3 9 6 0 0 1 9 8 0 ]

1. 変更年月日 1 9 9 6 年 1 月 2 6 日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都港区麻布十番 1 丁目 7 番 3 号  
氏 名 株式会社モノリス